

AGUA

PANORAMA GENERAL EN ARGENTINA
SEGUNDA EDICIÓN



Marisa Arienza - Andrés E. Carsen Pittaluga
Evgeniy Ermolin - Andrey Glazovski
Miguel A. Gómez - Luis A. Tournier
Carlos M. Marschoff - Adrián Silva Busso

AGUA

PANORAMA GENERAL EN ARGENTINA

SEGUNDA EDICIÓN

Marisa Arienza
Andrés E. Carsen Pittaluga
Evgeniy Ermolin
Andrey Glazovskiyy
Miguel A. Gómez
Luis A. Tournier
Carlos M. Marschoff
Adrián Silva Busso



Agua : panorama general en Argentina / Marisa Arienza ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Fundación Green Cross Argentina, 2020.
288 p. ; 21 x 15 cm.

ISBN 978-987-86-4078-5

1. Agua. 2. Abastecimiento de Agua. 3. Agua de Riego. I. Arienza, Marisa
CDD A863

Agua: Panorama General en Argentina (2.ª ed.)

Autores: Marisa Arienza, Andrés E. Carsen Pittaluga, Evgeniy Ermolin, Andrey Glazovskiy, Miguel A. Gómez, Luis A. Tournier, Carlos M. Marschoff, Adrián Silva Busso.

ISBN: 978-987-86-4078-5

2.ª edición: abril 2020



Fundación Green Cross Argentina
Buenos Aires, Argentina
greencrossar@gmail.com
@greecrossarg

Edición y Diseño Gráfico: Mariana Viola.

Fotografía de tapa: Cerro Llao Llao, Bariloche, Argentina. Por Mariana Viola.

Créditos fotográficos de apertura de capítulos y capítulos 1 y 7: freepik.com, pexels.com.

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723.

No se permite la reproducción, parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización y otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

Impreso en Argentina.



MIKHAIL GORBACHOV

PRESIDENTE FUNDADOR DE GREEN CROSS INTERNACIONAL

"Una buena gobernanza del agua y del saneamiento solo se puede lograr a través de enfoques basados en los derechos humanos y mediante inversiones apropiadas en la participación informada y concreta de la sociedad civil. Instamos a todos los actores a alentar la implementación de estos derechos, así como a reconocer el conocimiento local y la gestión comunitaria como soluciones importantes, y a apoyarlos de manera concreta".



JEAN-MICHEL COUSTEAU

PRESIDENTE DE GREEN CROSS FRANCIA Y TERRITORIOS

"En la actualidad, entre 4000 y 5000 niños mueren cada día por falta de acceso suficiente al agua potable. Al mismo tiempo, estamos tratando de hacer de nuestros cursos de agua y océanos una verdadera basura y explotar o sobreexplotar los recursos marinos. De ahora en adelante, todos a nivel local, regional o nacional, en su empresa o red social, deben formalizar compromisos concretos y poner en marcha soluciones".



CARLOS ALBERTO MALLMANN

PRESIDENTE DEL DIRECTORIO DE GREEN CROSS ARGENTINA

"Los problemas del acceso al agua potable y la seguridad ambiental solo pueden resolverse exitosamente si se realiza un abordaje holístico del desarrollo humano, social y ambiental sustentable. La erradicación de la pobreza tiene que ser el eje central para construir una sociedad en la cual todos los seres humanos accedan a una vida digna y a adecuada participación en los bienes de la naturaleza, y asuman la responsabilidad de usarlos con inteligencia para el presente y futuro de la vida planetaria".



ÍNDICE

CAPÍTULO 1

AGUA Y SOCIEDAD: ASPECTOS ÉTICOS Y LEGALES 9

1.1.- El desarrollo humano y social y el acceso al agua 10

1.2.- La Carta de la Tierra: un reflejo de las necesidades humanas y del desarrollo sostenible 13

1.3.- La Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible 15

1.4.- Los desafíos para el hacer 16

1.5.- El derecho al agua, inescindible del derecho al desarrollo 19

1.6.- Disponibilidad de agua en el planeta 23

1.7.- El acceso al agua potable 26

1.7.1.- Contaminación antrópica 27

1.7.2.- El acceso al agua y saneamiento en América Latina y en Argentina 29

1.8.- Algunas conclusiones 30

1.9.- El derecho al Agua en Argentina 31

1.9.1.- Introducción 31

1.9.2.- Situación del abastecimiento de agua y servicios sanitarios 34

1.9.3.- Disponibilidad 36

1.9.4.- Contaminación del agua 36

1.9.5.- Marco legal del Derecho al Agua y Saneamiento 37

1.9.6.- Exigibilidad del derecho 48

1.9.7.- Financiamiento del agua y saneamiento 49

1.9.8.- Estrategia nacional 50

1.10.- Conclusiones 51

CAPÍTULO 2

PANORAMA GENERAL DEL AGUA EN LA REPÚBLICA ARGENTINA 55

2.1.- Visión global a nivel país 56

2.1.1.- Aspectos generales 56

2.1.2.- Disponibilidad de agua 68

2.1.3.- Usos consuntivos del agua en Argentina 71

2.1.4.- Presas y centrales hidroeléctricas 75

2.1.5.- Riego	80
2.1.6.- Agua y saneamiento	82
2.1.7.- Vacíos críticos de información	85
2.2.- Fichas resumen: principales cuencas hidrográficas de Argentina	86
2.2.1.- Cuenca del Plata	86
2.2.2.- Sistema de la Laguna Mar Chiquita	95
2.2.3.- Sistema Rio Colorado	104
2.2.4.- Cuenca del Río Negro	126
2.2.5.- Cuenca del Río Chubut	130
2.2.6.- Río Santa Cruz	133

CAPÍTULO 3

EL AGUA Y LOS CONTAMINANTES PREDOMINANTES **137**

3.1.- Introducción	138
3.1.1.- Aspectos generales	138
3.1.2.- Conclusiones	146
3.2.- La urbanización y su impacto sobre la contaminación del agua	148
3.3.- Impacto de las actividades agrícolas y ganaderas	153
3.3.1.- Introducción	153
3.3.2.- Efectos sobre los suelos	154
3.3.3.- Efectos sobre las aguas superficiales	156
3.3.4.- Efectos sobre las aguas subterráneas	160
3.4.- Impacto de la industria	164

CAPÍTULO 4

CAMBIO CLIMÁTICO **171**

4.1.- Evolución histórica de la temperatura de la Tierra	172
4.2.- Factores que afectan la temperatura de la Tierra	174
4.2.1.- Variaciones en la intensidad de radiación solar	174
4.2.2.- Variaciones en la composición de la atmósfera	175
4.3.- Las glaciaciones y el cambio climático	177
4.4.- Factores antrópicos en el proceso de cambio climático	180
4.5.- Impacto del cambio climático sobre el mar y los recursos hídricos	183
4.6.- Algunas conclusiones	187

CAPÍTULO 5

GLACIARES Y CAMBIO CLIMÁTICO 189

5.1.- La criósfera y sus componentes	190
5.2.- Tipos de glaciares	193
5.3.- Glaciares, permafrost y el ciclo del agua	197
5.4.- Historia de los glaciares	203
5.5.- Glaciares de montaña, actividad humana y tendencias futuras	207
5.5.1.- Los glaciares y la actividad humana	211
5.5.2.- El caso argentino	211
5.5.3.- Tendencias futuras	218

CAPÍTULO 6

AGUAS SUBTERRÁNEAS 221

6.1.- Aspectos generales	222
6.2.- Aprovechamiento de las aguas subterráneas	225
6.3.- Grandes acuíferos del planeta	226
6.4.- Aguas subterráneas en Argentina	229
6.4.1.- Llanura Chaco–pampeana húmeda. Acuífero Puelche	231
6.4.2.- Piedemonte y llanura Cuyana	232
6.4.3.- Acuíferos transfronterizos	234
6.4.3.1.- El Acuífero Guaraní	234
6.4.3.2.- Sistema Acuífero Yrendá Toba Tarijeño	236
6.5.- Composición química de las aguas subterráneas	238

CAPÍTULO 7

CONTROL DE LA DESCARGA DE EFLUENTES INDUSTRIALES EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES 243

7.1.- Introducción	244
7.2.- Permisos y mecanismos preventivos para la reducción de la contaminación	246
7.3.- Control del vertido de efluentes en Canadá. Caso particular de la industria de pulpa y papel	250
7.3.1.- Estudios de monitoreo de efectos ambientales	253

7.3.2.- Participación pública en los estudios de monitoreo de efectos ambientales	254
7.4.- Control del vertido de efluentes en Estados Unidos	255
7.4.1.- Limitaciones a la descarga de efluentes	256
7.4.2.- Monitoreo de efluentes	259
7.4.3.- Informe de resultados de monitoreo	261
7.5.- Control del vertido de efluentes en aguas marinas y continentales superficiales de Chile	263
7.6.- Control del vertido de efluentes en aguas superficiales en Argentina	265
7.7.- Regulaciones para la participación social en el proceso de otorgamiento de permisos	267
7.7.1.- Previsiones del NPDES para la intervención del ciudadano u organismos	267
7.7.2.- Previsiones para la participación pública en el control de la contaminación en la UE	270
7.7.3.- Previsiones para la participación pública en la provincia de Mendoza	274
7.8.- Inspecciones de cumplimiento de los permisos de vuelco	275
7.9.- Mejoras para el cumplimiento normativo. Implementación de sistemas avanzados	276

ANEXO

AUTORES Y BIBLIOGRAFÍA	279
-------------------------------	------------

AUTORES	280
----------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	282
---------------------	------------



CAPÍTULO 1

AGUA Y SOCIEDAD: ASPECTOS ÉTICOS Y LEGALES



1.1.- El desarrollo humano y social y el acceso al agua

Si bien el objetivo principal de este libro es tratar los temas centrales vinculados al acceso al agua en nuestro país y al contexto mundial en el que se inserta el caso argentino, es importante poner el tema del agua en el contexto global de los recursos naturales y de su importancia para un **desarrollo humano, social y ambiental sustentable** y, para ello, recurrimos al marco teórico desarrollado por Mallmann para el análisis de las necesidades humanas (1,2).

Tabla 1: Sistema de necesidades humanas desarrollado por Mallmann

Necesidad o pobreza de		Componentes psicossomáticas	Componentes psicossociales	Componentes psicoambientales
Subsistencia	Salud	Fisiológica y psicológica	Predictibilidad social, legalidad	Predictibilidad habitual, vivienda
	Seguridad	Revisarse, curarse, asegurarse	Defensa, seguridad física	Seguridad habitual
Relaciones	Amor	Apego a la vida, amor a uno mismo	Amor familiar, amistad, arraigo	Amor y arraigo al hábitat
	Participación	Libre e independiente	Autónoma en decisiones sociales	Autónoma en decisiones habituales
Comprensión	Educación	Estudio, introspección	Formal e informal, información	Comprensión del hábitat
	Creación	Científica, humanística, técnica	De movimientos, de organizaciones	De hábitats artificiales
Acción	Actividad	Personal, remunerativa	Social	Habitual
	Variedad	Recreación física y espiritual	Recreación con otras personas	Recreación en el hábitat
Sentido	Valores	Autenticidad, ecuanimidad, etc.	Solidaridad, ética social, justicia	Estética, belleza, ética ambiental
	Trascendencia	Teleológica personal	Religiosa, histórica, prospectiva	Cósmica, ecológica, habitual

Este esquema de necesidades humanas es universal y válido independientemente de la época, la región geográfica, la raza, religión, género o condición socioeconómica. Lo que se modifica, a lo largo de la historia y de las formas de organización social, son los “satisfactores” que el ser humano tiene a su alcance para poder cubrirlos. Los satisfactores dependen de la cultura de cada sociedad y, algunos de ellos, de la situación socioeconómica de cada individuo.

De este modo, aunque la manera de satisfacer una necesidad, por ejemplo, la recreación, puede ser muy diversa (jugar con un perro, ver una película, recoger flores, etc.), lo que resulta innegable es que la falta de satisfacción de cualquiera de las necesidades mencionadas afecta al ser humano ya sea física o psicológicamente.

En tanto la satisfacción del plexo de necesidades es indispensable para el sano desarrollo del ser humano, es la sociedad políticamente organizada la que tiene el deber de garantizar la satisfacción para toda la población y, en este aspecto, se debe reconocer que hay un “rango de prioridades” de estas necesidades que está definido, en sentido vertical, en el cuadro anterior.

La necesidad de primer rango es, obviamente, la de subsistencia que, desde el momento del nacimiento del ser humano implica el dilema de existir físicamente o morir. **Ninguna otra necesidad tiene sentido si no está garantizada** la primera y en ella, como en todas las demás, hay componentes de índole somática y psíquica: el ser naciente podrá sobrevivir si ha tenido las condiciones mínimas para ello durante la etapa de gestación y ello hará que, además de ser una persona “viable” en términos médicos, sea una persona potencialmente sana en el orden psíquico. Asimismo, a lo largo de toda la vida esta necesidad se mantiene y, dentro de ella, podemos distinguir dos categorías: a) la salud y b) la seguridad personal (no morir o quedar discapacitado por ataques externos) incluyendo, entre esos ataques posibles, la falta de **seguridad ambiental** (seguridad del hábitat). El acceso al agua es una condición necesaria, si bien no suficiente, para la subsistencia, toda vez que la salud implica, además y entre otros aspectos, buena alimentación, cuidados médicos y vivir en un hábitat adecuado.

A partir de la satisfacción de la necesidad de subsistencia los seres humanos, junto con el entorno social, construyen, a partir de las interacciones entre individuos y de la creación de formas de organización, condiciones que pueden conducir a lograr un desarrollo humano satisfactorio o, por el contrario, un desarrollo insatisfactorio que lleva a antagonismos internos del propio individuo, con la sociedad y con el ambiente.

Por ello, cuando una sociedad políticamente organizada establece las condiciones para que los seres humanos que la integran puedan desplegar su potencial y satisfacer sus necesidades a través de normas que aseguren el acceso a la educación universal, la existencia de oportunidades para trabajar, un entorno social con valores, la confiabilidad en la justicia (en poder hacer un reclamo justo y no temer falsas acusaciones), una adecuada relación con el medio ambiente, queda en manos de la esfera individual y de relación de las personas ir desarrollando el resto de sus necesidades con los satisfactores apropiados.

Es clave reconocer que **las sociedades que no presentan enormes distancias entre la población más rica y la que menos tiene, son aquellas que más logran acercarse al buen desarrollo humano** y a la satisfacción adecuada de la mayor parte tanto de las necesidades constantes de la vida como de aquellas que van apareciendo en etapas diversas de la edad. También es central advertir que, si bien el “desarrollo económico” está claramente implícito como una de las herramientas imprescindibles para poder satisfacer universalmente las necesidades humanas, constituye una herramienta que, por sí sola, es insuficiente para arribar al modelo de desarrollo que consideramos compatible con las características de los seres humanos.



1.2.- La Carta de la Tierra: un reflejo de las necesidades humanas y del desarrollo sostenible

En 1994, Maurice Strong, Secretario General de la Cumbre de Río, y Mikhail Gorbachov, trabajando a través de las organizaciones que ellos mismos fundaron (el Consejo de la Tierra y Green Cross International) lanzaron, con el apoyo del gobierno del Reino los Países Bajos, una iniciativa para redactar una Carta de la Tierra para que fuera adoptada por la sociedad civil. La redacción inicial y el proceso de consulta recogieron cientos de documentos internacionales.

Para ello, en 1997 se formó una comisión con el fin de supervisar el desarrollo del texto, de analizar el resultado de un proceso de consulta global y de lograr un acuerdo de consenso sobre el documento. Luego de numerosos borradores y de considerar el aporte de personas de todo el mundo, la comisión logró consensuar el texto final en una reunión que se llevó a cabo en la sede de UNESCO en París en marzo de 2000. La Carta de la Tierra fue luego presentada formalmente en una ceremonia en el Palacio de Paz en La Haya y, desde entonces, **es ampliamente reconocida como declaración de consenso global sobre el significado de la sostenibilidad, el desafío y visión del desarrollo sostenible y de los principios sobre los cuales se debe alcanzar el desarrollo sostenible**. La Carta de la Tierra es utilizada como base en negociaciones de paz, como documento de referencia en el desarrollo de estándares globales de códigos y ética, como recurso en procesos legislativos y de gobernanza, como herramienta para el desarrollo de las comunidades, como marco educativo para el desarrollo sostenible y en muchos otros contextos y también fue una influencia importante en el plan de implementación del Programa de Acción para la Educación para el Desarrollo Sostenible de la UNESCO.

En la Tabla 2 se muestra que la Carta de la Tierra, que tiene como finalidad garantizar un futuro común con buen desarrollo humano, social y ambiental para la especie humana actual, las generaciones venideras y contribuir a la existencia del planeta y de toda forma de vida natural, en condiciones sustentables en el tiempo, está en total coincidencia con la teoría de las necesidades humanas y el desarrollo humano, social y ambiental sostenible que postulamos (3).

Tabla 2: Relación entre el Sistema de Necesidades Humanas y la Carta de la Tierra

Sistema de Necesidades Humanas		Carta de la Tierra
Necesidades universales de los seres humanos		<p>I) Respeto y cuidado de la comunidad de la vida. I.1) Respetar la tierra y la vida en toda su diversidad. I.2) Cuidar la comunidad de la vida con entendimiento, compasión y amor. I.3) Construir sociedades democráticas que sean justas, participativas, sostenibles y pacíficas. I.4) Asegurar que los frutos y la belleza de la Tierra se preserven para las generaciones presentes y venideras. III.9) Erradicar la pobreza como un imperativo ético, social y ambiental.</p> <p>Compromisos: Habitales, extrahumanos o psicosociales.</p>
Existir y vivir	Manutención	II.5) Proteger y restaurar la integridad de los sistemas ecológicos de la Tierra, con especial preocupación por la diversidad biológica y los procesos naturales que sustentan la vida.
	Seguridad	II.6) Evitar dañar como mejor método de protección ambiental, cuando el conocimiento sea limitado, proceder con precaución. II.7) Adoptar patrones de producción (...) que salvaguarden las capacidades regenerativas de la Tierra.
Identificarse y orientarse	Afirmación	III.11) Afirmar la igualdad y equidad de género como prerrequisito para el desarrollo sostenible y asegurar el acceso universal a la educación, el cuidado de la salud y la oportunidad económica.
	Darse sentido	III.12) Defender el derecho de todos, sin discriminación, a un entorno natural y social que apoye la dignidad humana, la salud física y el bienestar espiritual...
Relacionarse y convivir	Amor y amistad	IV.15) Tratar a todos los seres vivos con respeto y consideración. IV.16) Promover una cultura de tolerancia, no violencia y paz.
	Participación y pertenencia	IV.13) Fortalecer las instituciones democráticas en todos los niveles y brindar transparencia y rendición de cuentas en la gobernabilidad, participación inclusiva en la toma de decisiones y acceso a la justicia.
Independencia y acción	Autonomía y ocupación	III.10) Asegurar que las actividades e instituciones económicas, a todo nivel promuevan el desarrollo humano de forma equitativa y sostenible.
	Recreación y variedad	--
Educación y cuestionamiento	Autonomía y ocupación	IV.14) Integrar en la educación formal y en el aprendizaje a lo largo de la vida, las habilidades, el conocimiento y los valores necesarios para un modo de vida sostenible.
	--	II.8) Impulsar el estudio de la sostenibilidad ecológica y promover el intercambio abierto y la extensa aplicación del conocimiento adquirido.

Nota: los números indican el número de los incisos de la Carta de la Tierra.

1.3.- La Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (4) sintetiza en 17 principios todo lo aquí expresado en relación con el desarrollo humano, social y ambiental sostenible y los principios de la Carta de la Tierra, focalizando particularmente en la paz universal, el acceso a la justicia y la erradicación de la pobreza. La enorme importancia de la Agenda 2030 se debe al hecho de que tiene un camino crítico consensuado para lograr las metas propuestas para el año 2030, así como un plan ejecutivo y fondos destinados para cumplir con cada meta.



1.4.- Los desafíos para el hacer

El presidente Gorbachov definió tres objetivos que, desde su visión, resultan centrales para alcanzar el propósito que buscamos: lograr la paz, eliminar la pobreza y asegurar la sustentabilidad ambiental.

El primer desafío consiste en mantener la paz, ya que es condición necesaria para garantizar el derecho a la existencia humana no incrementar la pobreza, evitar el desarraigo con las grandes migraciones de zonas de conflicto, no afectar las infraestructuras hídricas y de alimentos, preservar la integridad física, ambiental y cultural de los pueblos. Mantener la paz significa no solo evitar los grandes conflictos internacionales, sino también todo conflicto intestino armado, luchar contra el terrorismo, para el cual no existe justificación alguna posible desde lo moral o político, y oponerse a los embates autoritarios de quienes pretendan avasallar el legítimo intercambio democrático en todos los órdenes de la vida de los estados.

El segundo desafío concierne a la lucha contra la pobreza en todas partes del mundo. ¿Cómo es posible que algunos millones de individuos que han sido tocados por la suerte puedan quedar indiferentes al espectáculo de la miseria en el cual se debate la mitad de la población del globo, reducida a vivir con uno o dos dólares por día, sufriendo cotidianamente el hambre, casi siempre privados de agua potable y de condiciones de higiene decentes? ¿Cómo podemos admitir que en la época de Internet y de la mundialización, millones de niños sean obligados a casi no poder subsistir al precio de trabajos lamentables y se vean privados de cualquier acceso a la educación? El mayor imperativo moral de nuestro tiempo es la eliminación de la pobreza. La pobreza tiene una columna vertebral ambiental dramática, ya que son los pobres quienes están expuestos a las más graves situaciones de inseguridad para su propia existencia en razón de la pésima condición de su hábitat. El acceso inexistente o insuficiente al agua potable, saneamiento e higiene es una constante en estas poblaciones. La inaccesibilidad a los mínimos recursos materiales que hacen al desarrollo de una cotidianeidad digna es otra de las severas limitaciones que padecen amplias capas de la población.



El tercer desafío toca a los problemas del ambiente, como más habitualmente los conceptualizamos. Los cambios climáticos que afectan al mundo hoy son evidentes, la cantidad de cataclismos naturales —tifones, tempestades, inundaciones, sequías— están en constante aumento, abundantes especies vegetales y animales están en vías de desaparición, los glaciares están afectados al igual que el permafrost, el ártico disminuye su masa de hielo de manera exponencial año a año, los océanos están más y más contaminados, los bosques nativos son exterminados a una velocidad prodigiosa... Recientemente la Amazonia ha sufrido incendios de magnitud nunca vista y África tuvo un proceso concomitante de enorme envergadura. Un daño extremo a los “pulmones del planeta”. Estos enormes incendios en diversas partes del mundo, que tienen un componente vinculado exclusivamente a procesos naturales, son también responsabilidad de desmanejos políticos, que permiten realizar desmontes, usualmente para expandir la frontera agrícola o agropecuaria en zonas de altísima sensibilidad y cuyo uso debe estar estrictamente manejado por profesionales que garanticen la sobrevivencia saludable del bosque nativo. Cambio climático e impericia en las decisiones políticas de las áreas afectadas llevaron a una catástrofe que llevará tiempo, esfuerzo y recursos económicos ingentes para solucionar.

Frente a los problemas que se señalan en relación con el medio ambiente encontramos hoy dos posiciones extremas: por una parte, aquellas personas negacionistas del cambio climático se resisten a admitir la creciente evidencia sobre el impacto que las acciones del ser humano tienen sobre el clima. Por otra parte, grupos y organizaciones, generalmente bien intencionadas, sostienen que hoy el papel de la humanidad es el de preservar a ultranza todos los bienes ambientales, volviendo a las prácticas ancestrales y que los territorios, allí donde estén, se mantengan como reservas para el futuro.

Ambas posiciones están en un grave error. Los negacionistas basan sus argumentos en análisis de datos de muy corto plazo y anteponen el “desarrollo económico” como un santo grial que se debe perseguir a cualquier precio. Por su parte, los preservacionistas creen que las naciones con menor grado de desarrollo deben abandonar toda esperanza de avance económico en pos de preservar los recursos naturales, sin tomar en cuenta que la eliminación de la pobreza en forma simultánea con la atención al incremento de la población se hace imposible bajo esa premisa y condena a millones de seres humanos a una vida miserable.

Creemos que no es aceptable sacrificar el desarrollo humano y social sustentable en pos de los dictados que la Comisión Trilateral y el Club de Roma emitieron en la década del 70 definiendo los “límites del crecimiento” del mundo no industrializado como forma de perpetuar *sine die* los “estilos de desarrollo de los países industrializados”, sin cambios, ni negociación alguna, ya que para eso están quienes velarán para que les mantengan la mitad del globo terráqueo con “límites al crecimiento”, con grandes “reservas de bienes ambientales intocadas” y que podrán utilizar, cuando sea necesario, para su propia continuidad de desarrollo y calidad de vida, dejando de lado el desafío de la eliminación de la pobreza. Es una gran tarea y un ejercicio constante que debemos mantener establecer, en base a datos científicos verificables, cuáles son las acciones que, respetando el principio de sustentabilidad, puedan llevarse a cabo de modo tal de asegurar un desarrollo económico ejecutado de forma de atender las necesidades de las poblaciones más pobres.

1.5.- El derecho al agua, inescindible del derecho al desarrollo

El derecho al acceso al agua segura o al agua potable está consagrado en el Artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos en tanto establece que los seres humanos tienen el “derecho de tener un nivel de vida adecuado para garantizar la salud y el bienestar para sí mismos y para sus familias”. Esto se complementa en la enunciación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas, donde se ha establecido que la necesidad de agua potable es inescindible de la de saneamiento e higiene.

Agua, saneamiento e higiene son imprescindibles para que las poblaciones accedan a la base mínima de un entorno saludable. De nada servirá que tengan acceso a los alimentos si beben agua contaminada de napas que son sumideros de los desechos humanos, pues la mortalidad infantil y de adultos mayores será inaceptable debido a diarreas, meningitis y otras enfermedades de transmisión hídrica. De poco servirá que existan agua potable y saneamiento si no brindamos la educación necesaria en cuanto a la higiene personal y al cuidado en el lavado de las manos para evitar contaminar alimentos y favorecer la proliferación de enfermedades. **El derecho al agua debe entenderse como el derecho humano de acceder al agua potable, al saneamiento y a la higiene personal.**

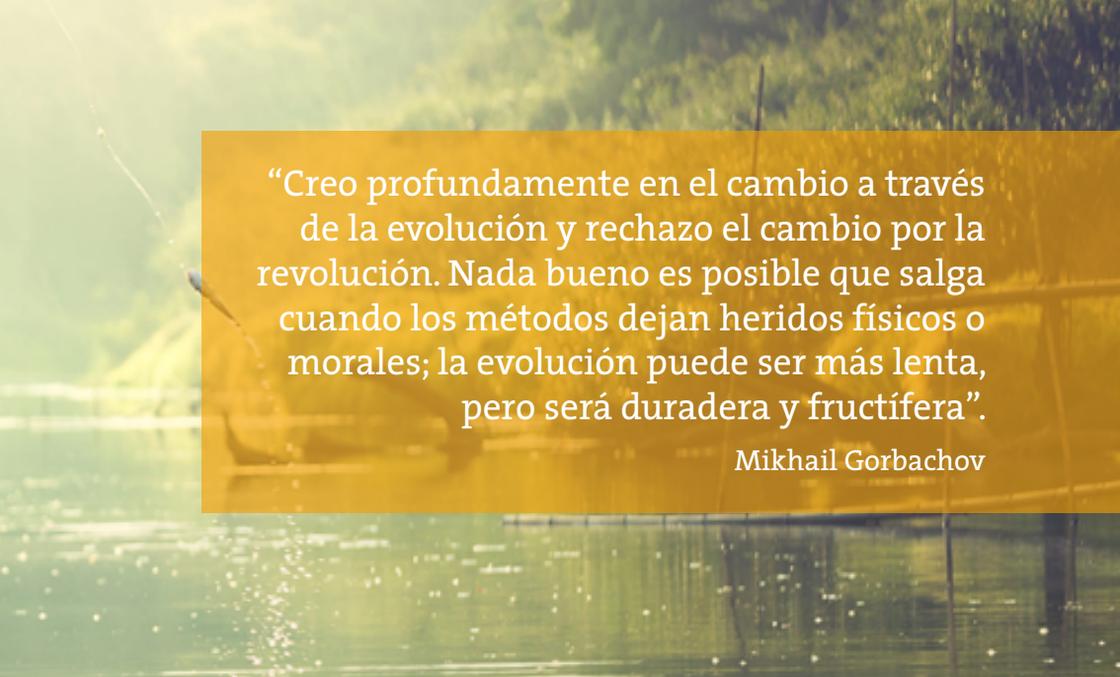
El artículo 25 de la Declaración de los Derechos Humanos también remite a la exigencia de acceder al desarrollo humano, social y ambiental y al derecho de los países subdesarrollados a acceder al desarrollo, a la independencia alimentaria, al desarrollo industrial, al uso de sus recursos naturales en un marco de buenas prácticas y a todo el conjunto de actividades necesarias para llevar la calidad de vida de sus poblaciones y sus respectivas expectativas de vida al nivel que “el estado del arte” permita. Es inaceptable cualquier justificación que se pretenda dar para argumentar que ciertas naciones no pueden o “no deben” tener la expectativa de vida que tienen los habitantes de los países desarrollados. No existe justificación ética, moral ni religiosa por la que sea aceptable “modular” el desarrollo de los países subdesarrollados inhibiendo la satisfacción de todo el conjunto de necesidades humanas. Tampoco existe justificación por la cual se



pretenda avanzar hacia esa meta utilizando malas prácticas en los mecanismos disparadores. Es necesario avanzar con el valor agregado del aprendizaje de los errores cometidos, y con la inclusión de los valores y las buenas prácticas tanto en el ámbito público como en el privado, y en el de la sociedad civil y sus instituciones intermedias para el logro de este objetivo.

Ricardo Diez Hochleitner, ex ministro de Educación de España, señalaba hace más de tres décadas: “Si no ayudamos a la eliminación de la pobreza por filantropía, entonces deberemos igual hacerlo por egoísmo ilustrado”, frase que resume de manera magistral y en pocas palabras que estamos en el mismo barco y que no hay posibilidad alguna de que se hunda parcialmente: o nos hundimos todos o nos salvamos todos y esa es la verdadera situación de la “humanidad en esta encrucijada”.

El grupo de científicos argentinos del modelo mundial “Catástrofe o Nueva Sociedad” (6) ha señalado que el problema central es el de la distribución de los recursos y la de sus beneficios, y no la carencia de ellos, contrariamente a lo sostenido por sus colegas del MIT con el modelo de Los Límites del Crecimiento (7). Pasados ya casi cincuenta años de este planteo **es claro que, en el caso del agua, existen suficientes reservas en el planeta para garantizar, sine die, las necesidades de los ecosistemas naturales y las necesidades básicas de agua de las personas y de la producción** (8).



“Creo profundamente en el cambio a través de la evolución y rechazo el cambio por la revolución. Nada bueno es posible que salga cuando los métodos dejan heridos físicos o morales; la evolución puede ser más lenta, pero será duradera y fructífera”.

Mikhail Gorbachov

Esta es la buena noticia. La mala es que **la distribución de este recurso en el planeta es profundamente desigual**. Nuevamente estamos convencidos de que el camino a seguir solo puede transitarse con un cambio profundo de valores: de la confrontación a la cooperación, del subdesarrollo al desarrollo, de las soluciones burocráticas y de megainfraestructuras al de las soluciones llamadas “suaves”, vinculadas a elevar la eficiencia a través del uso de tecnologías eficientes en el uso y distribución del agua, la utilización diferenciada de aguas de distintas calidades según el destino de uso, la implementación por parte de los estados de herramientas que fomenten el uso responsable y racional versus el derroche irresponsable de la cultura actual.

En el caso argentino, un ejemplo es el de la ciudad de San Juan que, con solo mejorar su red de distribución, que mostraba fallas en múltiples sitios, eliminó una pérdida del orden del 30% del total del agua potable de la red. Estas medidas y muchas otras de este tipo no son incompatibles ni están en tensión con las grandes infraestructuras como las represas, acueductos etc.; por el contrario, las sinergias y la complementación entre las soluciones “suaves” y las “rígidas” permitirá hacer las grandes inversiones donde realmente es necesario y adecuado e implementar soluciones “suaves” donde estas demuestren que son suficientemente eficientes para el objetivo previsto.

Nuevamente, el cambio de valores permite transitar por distintas soluciones que aparentan ser opuestas solo por la construcción de

conflictos inconciliables de nuestros esquemas de pensamiento rígido. Hace unos años, en una reunión en Moscú, en la sede de la Fundación Gorbachov, un reducido grupo de miembros de Green Cross discutía un punto que tocaba el tema de los valores y de las actitudes humanas; de pronto un Gorbachov vehemente y preocupado porque su mensaje se escuchara y quedara grabado en todos nosotros dijo: “Creo profundamente en el cambio a través de la evolución y rechazo el cambio por la revolución. Nada bueno es posible que salga cuando los métodos dejan heridos físicos o morales; la evolución puede ser más lenta, pero será duradera y fructífera”. Esta es otra frase que nos ha marcado profundamente, pues salió de alguien que vivió la revolución y construye la evolución.

La conservación y la buena gestión de los recursos hídricos, el enfrentar los efectos antrópicos que inciden en el cambio climático, la lucha contra la desertificación, la preservación de la biodiversidad, entre otros temas importantes, deberán apelar a soluciones variadas, algunas de altísima tecnología e inversión, otras de tecnologías simples apropiadas y de bajo costo, pero todas integradas para crear una única “sinfonía”, la del desarrollo humano, social y ambiental sustentable.

La educación para el buen uso de los recursos y su distribución equitativa es el camino de la evolución al desarrollo. Debemos evitar que el mensaje científico se transforme en mesiánico, persuadir acerca de la conveniencia del desarrollo con sustentabilidad en lugar de predicar “verdades reveladas”, y ser conscientes de que los modelos matemáticos que tratan de hacer prospectiva son herramientas útiles pero de ninguna manera infalibles ni “predicciones” incontestables y, por lo tanto, es importante tomar en cuenta estos trabajos, pero no aferrarnos a ellos como un creyente se aferra a la palabra de su Dios, cualquiera sea este.

Esto nos lleva a pensar que la humanidad está frente a una más de las encrucijadas complejas y desafiantes que hemos atravesado a lo largo del desarrollo de la especie. Tenemos algunas respuestas adecuadas para tomar el camino correcto, pero las respuestas que no tenemos son simplemente otros desafíos a la inteligencia, a nuestro desarrollo científico y tecnológico, a nuestra sensatez y capacidad de cambio de cosmovisiones y de adaptación. Estamos convencidos de que sabremos responder correctamente a la pregunta planteada hace ya medio siglo: ¿Catástrofe o Nueva Sociedad?

1.6.- Disponibilidad de agua en el planeta

Las fotografías obtenidas por distintas misiones espaciales y las declaraciones de los astronautas han popularizado la imagen de la Tierra como “el planeta azul”, y la razón por la cual nuestro planeta tiene ese aspecto es debido a la gran cantidad de agua existente en él. En efecto, las estimaciones más aceptadas indican que en la Tierra hay alrededor de 1400 millones de km^3 de agua. Del total de esa reserva, 96,5% se encuentra en los océanos y el resto es agua dulce distribuida entre los hielos permanentes, agua subterránea y ríos y lagos. Del total de agua dulce solo una fracción equivalente al 0,025% del total del agua de la Tierra, es decir, unos 350 000 km^3 , es agua potable que puede ser consumida sin tratamiento alguno por el ser humano.

De todas formas, más de 20 millones de km^3 corresponden al total de agua dulce contenida en acuíferos subterráneos y en ríos y lagos, con lo que se podría asegurar cómodamente el abastecimiento de toda la población mundial. La cuestión que se plantea tiene que ver con **cuáles son las posibilidades técnicas de potabilizar y distribuir esa agua**. En este sentido, las capacidades científico-tecnológicas para producir avances en los sistemas de potabilización de agua y los costos decrecientes de las tecnologías que permiten la potabilización ante los distintos contaminantes, así como la desalinización de agua de mar, hacen posible imaginar el logro de importantes progresos en la accesibilidad a agua potable de amplias capas de población que hoy no cuentan con ello.

Alcanzar ese logro exige decisiones políticas urgentes dirigidas a evitar que la puesta en marcha de las plantas de potabilización se decida sobre la base de cuestiones estrictamente financieras y que se analice la ecuación costo—beneficio valorando factores no monetarios, como la extensión de la esperanza de vida, la mejora de la calidad de vida o la posibilidad de desarrollo de actividades productivas antes inaccesibles a los grupos marginados.

El mapa de la Figura 1 da una imagen de cuál es la disponibilidad de agua, medida en metros cúbicos por habitante y por año, en las distintas naciones. Como se señaló previamente se puede ver, con claridad, que **la disponibilidad de agua es alta o muy alta en la**

mayor parte del planeta y, por lo tanto, el argumento de la escasez del recurso no puede aceptarse como excusa para no encarar el desafío de llevar agua potable a quienes la necesitan.

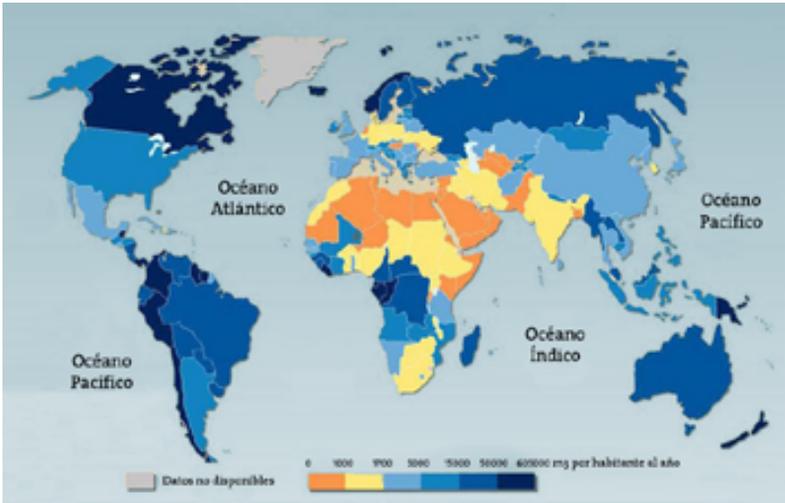
En relación con las tendencias futuras de disponibilidad del recurso hídrico, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático de las Naciones Unidas ha realizado estimaciones sobre cómo evolucionará el grado de estrés hídrico en las distintas regiones de la Tierra. Las estimaciones se llevaron a cabo empleando distintos modelos climáticos que, por su complejidad, no permiten adjudicar a los valores obtenidos la calidad de una predicción. El mapa de la Figura 2 muestra cuáles son esas tendencias.

Un análisis de este mapa indica que la principal causa de estrés futuro es el crecimiento poblacional que impacta particularmente sobre países de menor desarrollo relativo.

En esta prospectiva, Argentina, lejos de ser un país castigado a mediano y largo plazo resulta un país que, como mínimo, se mantiene estable aún sin cambiar ninguna de las variables actuales de inversión en infraestructuras de saneamiento, distribución de agua, incrementos tecnológicos, etc., lo que indica que estamos en buenas condiciones para dedicar los recursos necesarios que permitan que el país no se mantenga con la desigualdad de acceso al agua potable y saneamiento que padece actualmente.

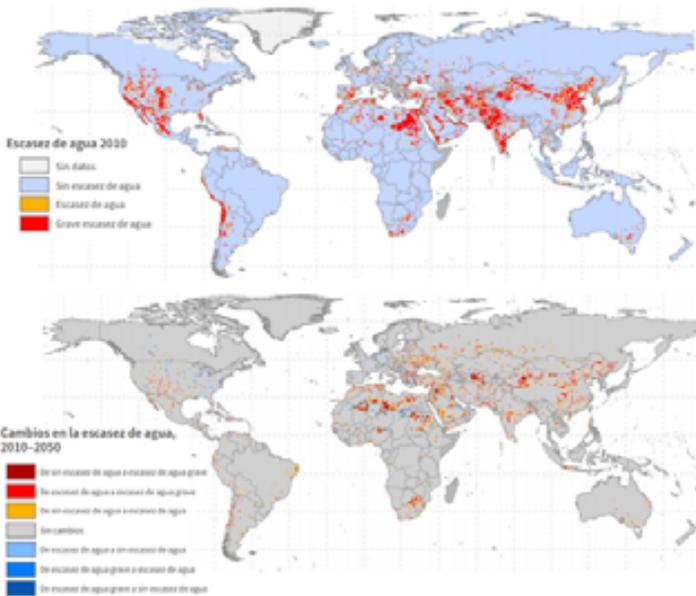


Figura 1: Disponibilidad de agua en el mundo por país



Fuente: Adaptado de World Resources Institute Washington DC, (2000). Recuperado de aqua-book.agua.gob.ar.

Figura 2: Mapa físico de la escasez de agua en 2010 y el cambio previsto para 2050

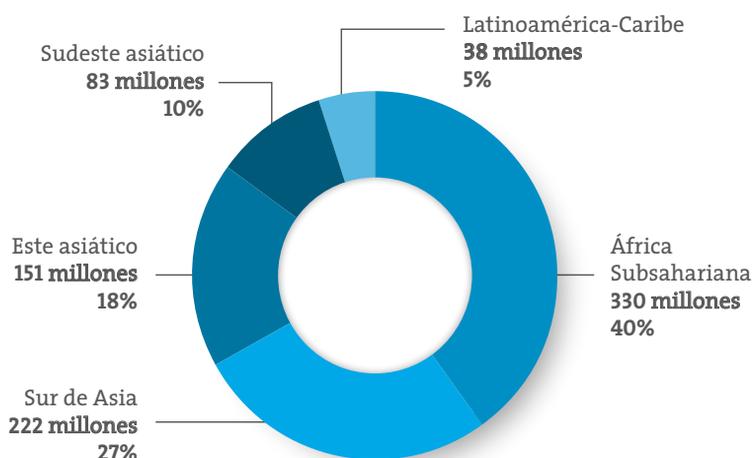


Fuente: Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas.

1.7.- El acceso al agua potable

El informe OMS-UNICEF (9) sobre el saneamiento y el agua potable nos indica que **las personas que viven en las zonas con menos recursos hídricos están en el orden de los 825 millones**, distribuidas según lo indicado en la Figura 3. Huelga comentar que los países desarrollados no figuran en el problema y sus poblaciones gozan de seguridad ambiental y calidad de vida.

Figura 3: Población mundial sin acceso al agua potable



Fuente: FAO-UNICEF (2020). "Progreso sobre el saneamiento y el agua potable 2010".

Un problema agregado es que parte importante de esta población tiene serias dificultades para transportar el agua desde las fuentes a las que puede acceder hasta sus hogares. La dificultad de acceder al agua para estas poblaciones implica que se produzca una distribución de tareas familiares en las cuales los hombres buscarán proveer, cuando lo logran, el alimento para la subsistencia familiar y las mujeres y los niños deberán recorrer grandes distancias para transportar, día tras día, el agua indispensable para sostener la vida familiar. Estos 1700 millones de individuos tienen algo en común: la pobreza extrema, la dificultad de garantizar la sobrevivencia de sí mismos y de sus familias, la imposibilidad absoluta de que los niños puedan acceder a la educación y la muerte, en el mejor de los casos, no más allá de los 40 años.

Si a las cifras nos remitimos, debemos señalar también que, conforme con los datos reflejados en los Objetivos del Milenio de Naciones Unidas, en el año 2000, cerca de 1,5 millones de niños morían anualmente debido a enfermedades de transmisión hídrica y, en consecuencia, totalmente evitables. Este hecho se verifica tanto en regiones de escasez como de abundancia hídrica, pues de este tipo de enfermedades están relacionadas con la calidad del agua y no con la cantidad. Es así que se verifican muertes de niños por esta causa desde la provincia de Buenos Aires hasta Burkina Faso. En todos los casos el tema afecta a los países subdesarrollados y, solamente de manera excepcional y por circunstancias esporádicas y puntuales, se producen situaciones de este tipo en algún país desarrollado.

1.7.1.- Contaminación antrópica

La mayor parte del agua dulce disponible no debe ser usada directamente para ser bebida debido a la presencia de distintos agentes que actúan deletéreamente sobre la salud y, por lo tanto, debe ser sometida a tratamientos que la conviertan en agua potable. La complejidad y el costo de estos tratamientos depende de la naturaleza de esas sustancias que pueden tener origen natural, como el caso del arsénico en acuíferos de Asia y América del Sur, o ser consecuencia de las acciones antrópicas.

En cuanto a la contaminación antrópica se pueden identificar cuatro causas principales: la urbanización, la agricultura, la industria y las actividades extractivas, siendo las dos primeras las más importantes. En el caso de los efectos de la urbanización las principales fuentes de contaminación son las fallas, o directamente la ausencia, de las instalaciones cloacales y el inadecuado tratamiento de los residuos sólidos. En cuanto a la actividad agrícola, el uso inadecuado de agroquímicos y la salinización por el uso inadecuado del riego tienen el más alto impacto.

En el caso de América Latina, conforme a los datos de la FAO (9), la mayor contaminación de ríos y acuíferos está vinculada a la inexistencia, deterioro o colmatación de los sistemas de tratamiento de líquidos cloacales o simplemente a la utilización de letrinas. Los asentamientos urbanos a orillas de los ríos y, desde luego, las grandes urbes como Bogotá, San Pablo, Buenos Aires o Rosario son la fuente contaminante de mayor peso sobre las cuencas hídricas.

En Asia, además de los problemas del tratamiento de las deyecciones humanas se encuentra el mayor grado de impacto de las malas prácticas agrícolas. Así, un estudio de la UNEP (8) muestra que el grado de salinización de suelos debido a malas prácticas de riego alcanzaba, hacia el año 2000, el 7% del total de tierra cultivable en China, el 20% en Pakistán y el 33% en Egipto. Asimismo, el exceso de uso de fertilizantes nitrogenados lleva los contenidos de nitratos a valores inaceptables.

Dado que en los países industrializados el control del vertido de efluentes está fuertemente regulado, la contaminación de origen industrial está, también, concentrada en naciones con bajo nivel de desarrollo económico donde los controles son más laxos o inexistentes. El sudeste asiático, en particular, presenta graves problemas de contaminación industrial y, dentro de esta, de manera muy remarcable la contaminación producida por la vasta industria de la moda que produce en esa región a costos muy bajos, entre otras cosas, por la mano de obra esclava, el trabajo infantil y, sobre todo, por la ausencia absoluta de procesos de tratamiento de efluentes. Es así que se eliminan a los ríos millones de toneladas de productos químicos utilizados por estas industrias que dañan severamente las fuentes de agua.

La urgencia de la necesidad de invertir en redes de tratamiento de efluentes urbanos y en la instalación y modernización de las redes de distribución de agua se enfrenta, muchas veces, con el hecho de que las administraciones de turno, orientadas a políticas de coyuntura ligadas al rédito político inmediato de las obras de infraestructura, perciben la “rentabilidad política” de este tipo de obra como baja y, en consecuencia, los daños ambientales más importantes para con los recursos hídricos del país se mantienen a través de las numerosas administraciones. En efecto, la falta de inversión en saneamiento es poco visible ya que los sistemas cloacales están bajo tierra y las plantas de tratamiento de efluentes lo más alejadas posible de las zonas habitadas, por lo que se termina cediendo ante inversiones que, si bien impactan muchísimo menos en la calidad de vida de las personas y en la morbi-mortalidad de la población, son más “vistosas para ganar adeptos a la hora de las urnas”.

Esto da cuenta también de la baja exigencia de la sociedad para con sus gobernantes y del deterioro de la educación que genera vastos sectores de la población incapaces de comprender el grave riesgo para la salud que conllevan las políticas que no cumplen con la obligación del Estado de garantizar agua potable y saneamiento universales.

1.7.2.- El acceso al agua y saneamiento en América Latina y en Argentina

Cuando observamos la situación de América latina en relación con los recursos hídricos, los datos disponibles que encontramos indican que hay una disponibilidad del recurso muy superior a la demanda de la población y de todas las actividades relacionadas en términos medios. Por lo tanto, el mayor desafío de América Latina tiene que ver con los siguientes temas: **creación de buenas infraestructuras de distribución del agua potable y saneamiento a las poblaciones, mantenimiento y mejoramiento de la calidad del recurso, utilización del recurso para el desarrollo humano y social sostenible.**

Para finalizar con estas consideraciones respecto del derecho del acceso al agua y saneamiento, debemos señalar que, además, Argentina carece de cultura del agua. Tiene un bajo consumo de agua por parte del sector industrial, comparado con países de menor desarrollo relativo: solo un 7% del consumo total del agua se deriva a usos industriales, mientras que el 71% se utiliza para riego (habitualmente de manera desmesurada, muchas veces por el sistema de “manto” o inundación y solo de manera escasa con criterios de manejo adecuado del recurso). Los países desarrollados superan el 40% del consumo total del agua para fines industriales.

Por todo esto podemos preocuparnos, pues el índice de consumo industrial de agua nos muestra a las claras que somos un país de baja industrialización y, en consecuencia, con serias dificultades para disparar el Desarrollo Humano, Social y Ambiental deseable. Asimismo, los contaminadores más pertinaces de nuestros recursos hídricos son los poderes públicos nacionales, provinciales y municipales que se resisten a invertir en las infraestructuras de provisión de agua y saneamiento, particularmente de saneamiento ya que éstas no necesariamente se reflejan en el voto de la población. Finalmente, las malas prácticas de riego y la utilización irracional de agroquímicos son, a nuestro entender, el otro gran factor de importancia de la contaminación de nuestros recursos hídricos. Podremos utilizar distintos chivos expiatorios para justificar el daño a nuestros recursos hídricos, **pero mientras no miremos en la dirección correcta, propongamos acciones viables y eduquemos a la población en la cultura del agua, no llegaremos a concretar que todos los habitantes tengan el ejercicio efectivo del Derecho al Agua.**

1.8.- Algunas conclusiones

Los cambios culturales requieren, en general, de períodos largos de tiempo. En el caso de los recursos hídricos y de la cultura de derroche que existe en una importante cantidad de países, el cambio cultural no podrá esperar y es responsabilidad de los estados nacionales, provinciales y municipales forzar el cambio de conductas a través de la persuasión de los ciudadanos o a través de la aplicación de sanciones a quienes no quieran comprender que el derroche de agua no es admisible ni aun para aquellos que disponen de ella en abundancia. El mismo criterio debiera aplicarse para la cuestión energética. “La cultura del agua” debe incorporarse al espíritu de nuestros tiempos.

El derroche o mal uso de los recursos hídricos debe instalarse en la legislación de los países como un hecho antijurídico con consecuencias legales para quien actúe conforme a la tipificación del hecho. En los países desarrollados ha bastado con imponer fuertes incrementos pecuniarios a quienes utilizan más cantidad de agua que la establecida para el uso de la actividad que desarrolla.

Todas las actividades humanas lícitas pueden actuar con buenas prácticas en uso del agua sin, por ello, dejar de existir o de cumplir con los objetivos que cada actividad tiene. ¿Quién puede creer que la agroindustria, que consume aproximadamente el 68% del total del agua utilizada, debería limitar su actividad o dejar de existir? Por el contrario, cuanto más pujante sea, más alimentos y desarrollo genere, mejor será, pero sí deberemos **transitar el camino de las mejores prácticas para que el uso del agua sea el de toda aquella que la actividad requiere, pero ni una gota más de la que es necesaria para garantizar su mejor performance y buen desarrollo.**

**La seguridad humana, social
y ambiental es la prioridad;
la eliminación de la pobreza
a través del desarrollo sustentable
es la única respuesta posible.**

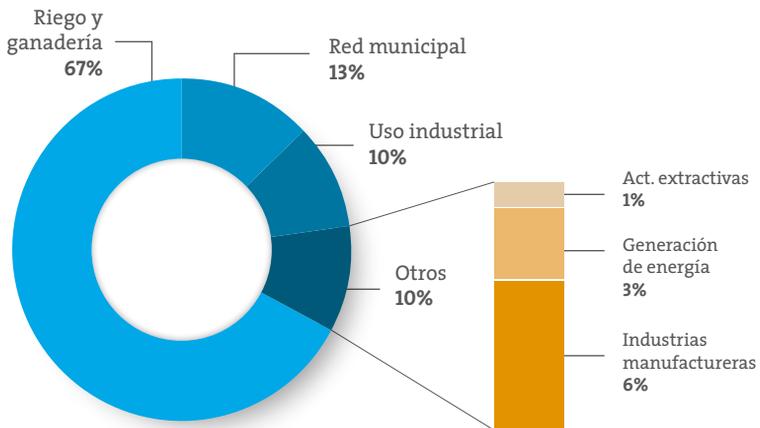
1.9.- El derecho al Agua en Argentina

1.9.1.- Introducción

Habiendo planteado las cuestiones globales que nos parecen más relevantes en cuanto a los recursos hídricos mundiales cabe ahora preguntarnos: ¿cuál es la situación de la población argentina respecto del derecho al agua?

Como punto de partida señalemos que, de acuerdo con las estadísticas de la FAO y tal como muestra la Figura 4, Argentina consume casi 40 mil millones de metros cúbicos de agua, es decir, unos 900 metros cúbicos por habitante y por año. De ese total el 74% se aplica a riego y ganadería, el 15% es distribución de agua en red municipal y el 11% es de uso industrial donde, bajo el término “industrial”, se agrupan las industrias manufactureras (ca. 7%), la generación de energía (ca. 3%) y las actividades extractivas (ca. 1%).

Figura 4: Distribución del consumo de agua en Argentina



Fuente: FAO (2016). Recuperado del sitio web de AQUASTAT.

El alto consumo del sector agrícola se explica, en parte, por las malas prácticas de riego empleadas que muchas veces se realiza por el sistema de “manto” o inundación y solo escasamente con criterios de manejo adecuado del recurso. La baja participación

de la industria en el uso del agua muestra a las claras que somos un país de baja industrialización y, en consecuencia, con serias dificultades para disparar el desarrollo humano, social y ambiental deseable.

La República Argentina se ha caracterizado, a lo largo de su historia, por contar con un **cuerpo jurídico—normativo que, en cada etapa histórica, reflejó los conceptos más modernos en cuanto a protección de derechos civiles**. Así, a mediados del siglo pasado, los derechos sociales fueron incorporados con fuerza constitucional y en 1994 se incorporaron los derechos ambientales.

Sin embargo, debemos señalar que existe un profundo divorcio entre la legislación con referencia específica al tema del agua y su cumplimiento. Esto ocurre fundamentalmente porque la implementación del derecho al agua potable en el país está fuertemente fragmentada dado que, en virtud al esquema federal del país y por el cambio constitucional de 1994, las provincias son las propietarias del recurso en sus respectivos territorios, así como son responsables del abastecimiento de agua potable y de los servicios de saneamiento. Del mismo modo, disponen de sus respectivas legislaciones de municipios produciéndose, aquí también, otra instancia de descentralización. Existe, entonces, una multiplicidad de niveles normativos, de instituciones decisorias, de jurisdicciones, de organismos de control y de políticas públicas.

Esta complejidad jurídica, lejos de acercarse a una fuerte garantía de cumplimiento del derecho al agua, ha reproducido el esquema de inequidad propio del país. En efecto, las ciudades capitales en sus zonas urbanas de altos recursos tienen, en general, un porcentaje de ciudadanos servidos por la red de agua potable y cloacas del orden del 98%, mientras que las periferias continúan con graves deficiencias en la materia y sus habitantes no son conscientes de sus derechos, desconocen las normas que los amparan y el servicio de agua potable y saneamiento no necesariamente es percibido como prioridad por las poblaciones de pobreza extrema en virtud de la urgencia cotidiana de sobrevivencia alimentaria.

La falta de políticas de Estado sostenidas en el tiempo que atiendan los problemas del desarrollo del país ha generado una sistemática dispersión y duplicación de esfuerzos, escasa coherencia

para la implementación de un pilar central, como es el acceso al agua y saneamiento, y la interrupción y reanudación espasmódica de los esfuerzos en este sentido. Por otra parte, la politización y la pérdida de altos niveles técnicos en la conducción de los organismos de control ha producido el efecto de hacerlos ineficientes y alejados de su función de garantía para la población.

La contaminación de los recursos hídricos no escapa a las consideraciones mencionadas. La acción de los desechos industriales en los cursos de agua, una utilización desenfrenada de agroquímicos sin respetar las buenas prácticas establecidas mundialmente, la perforación sistemática de los acuíferos para obtener agua de mejor calidad sin el adecuado control para la preservación del recurso, son ejemplos del mal cumplimiento de los postulados reflejados en las leyes.

Frente a estos hechos no se observan acciones concertadas de envergadura como para producir un cambio en el estado de situación actual aun cuando en el país rigen las normativas jurídicas necesarias para evitar la contaminación y preservar los recursos y, supletoriamente, los principios de obligatoriedad de remediación o de resarcimiento del daño ocurrido.



1.9.2.- Situación del abastecimiento de agua y servicios sanitarios

Argentina tuvo desde el año 1870 una compañía de agua y saneamiento estatal y único, Obras Sanitarias de la Nación (OSN). Esta compañía fue la encargada del abastecimiento de agua potable y saneamiento de manera monopólica hasta 1980, cuando el gobierno militar del momento traspasó a las provincias el servicio, quedando OSN como el proveedor de agua y saneamiento solamente en el marco de la Capital Federal y 13 partidos del Gran Buenos Aires.

A partir de allí convivieron en el país distintos sistemas de provisión de agua y saneamiento: municipales, provinciales, cooperativas, sistemas regionales, etc. Este cambio produjo la transición entre la existencia de una sola empresa estatal OSN a la convivencia de 161 sistemas de agua y saneamiento ambiental en todo el país.

En la década del 90 una nueva transición tuvo lugar: las privatizaciones de los servicios públicos y, entre ellos, los de agua y saneamiento. Una importante cantidad de empresas multinacionales extranjeras ganaron las licitaciones de los principales centros urbanos del país. El objetivo enunciado fue el de mejorar el servicio, ampliar y modernizar las redes e incluir a los sectores más pobres de la sociedad. El resultado de esta política es muy discutido actualmente y, efectivamente, ha sido en muchos casos decepcionante para la población y para las empresas, acarreando enormes costos políticos, económicos y sociales. A partir de 2004 el Estado retoma la responsabilidad de la provisión de agua potable y saneamiento.

El 87% de la población tiene acceso a agua segura, ya sea a través de la red de servicios públicos o a través de la captura del líquido a través de pozos. **El 58% de la población cuenta con servicios de saneamiento**. El resto de la población toma el agua de pozos contaminados, cursos de agua sin tratar o a través de conexiones clandestinas a las redes de agua cercanas. En relación con el saneamiento, los sectores no conectados se manejan con letrinas o pozos ciegos que permean rápidamente a las napas subterráneas de agua contaminándolas y, también, sufren desbordes generando situaciones de extrema vulnerabilidad para la salud de esas poblaciones.

Las poblaciones más expuestas a la falta de agua de red y saneamiento son las que habitan en la periferia de las grandes capitales, siendo el conurbano bonaerense una de las más importantes. Además de la falta de expansión de las redes de abastecimiento de servicios, existen serios problemas derivados de la situación de ilegalidad y falta de propiedad de la tierra por parte los habitantes de las “villas miseria”. La provisión de agua potable y saneamiento en este tipo de asentamientos fue permanentemente relegada tanto por el sector público (con el objetivo de no legitimar a intrusos ilegales) como así también por las empresas privadas, aunque estas poblaciones estuvieran dentro del área de concesión. En los últimos años se ha comenzado un proceso de urbanización que, de persistir, permitirá su inclusión a los servicios de agua y saneamiento, entre otros.

Existe muy escaso control por parte de las provincias o municipios relativos a los pozos de toma de agua y al mantenimiento de los pozos ciegos. Hay una relación directa entre la capacidad económica y educación del habitante rural y las condiciones de riesgo a las que está sometido con respecto al tema.

Participación social en la decisión de provisión de agua y saneamiento

En general, los niveles de participación en la toma de decisiones en todos los aspectos de la vida social de Argentina son muy bajos. Por otra parte, los mecanismos de participación son habitualmente débiles. En cuanto a la información y educación, existen esfuerzos significativos por parte del Ministerio de Salud de la Nación relacionandos con la toma de precauciones frente a situaciones de riesgo para la salud humana, entre otros, riesgos derivados del agua no segura y de la falta de saneamiento. No se perciben, sin embargo, campañas similares sostenidas por parte de otros sectores del Estado.

Tampoco existen mecanismos para monitorear el derecho de acceso al agua fuera de los datos de los censos de población que realiza el Instituto Nacional de Estadística y Censos. A nivel local, el papel de las ONG es posiblemente el de mayor relevancia con referencia a este tema; esto también implica que sus reclamos no son mandatorios y que depende de la decisión arbitraria del Estado nacional o provincial tomarlos en cuenta.

1.9.3.- Disponibilidad

No existe priorización alguna acerca de los usos. Tampoco existen previsiones acerca de mínimos de agua a ser garantizados por persona por día, si bien el objetivo de Obras Sanitarias de la Nación había sido el de garantizar 700 litros de agua por día a los usuarios, lo que indica la falta de criterios de escasez y de preservación del recurso.

El agua potable es generalmente bien garantizada a los usuarios conectados al sistema de red, cualquiera sea la modalidad de gerenciamiento que tenga. Sin embargo, la provisión de agua potable y saneamiento dependen fundamentalmente de las prioridades políticas de cada una de las provincias y obedece, en general, al nivel de presión social que la falta de estos servicios genera. Los pobladores no conectados a los servicios de agua y saneamiento, por ser vulnerable y con poco poder, en general no ejercen acciones en torno al derecho al agua y saneamiento, el énfasis de los reclamos sociales está todavía en el nivel de alimentación y trabajo. Con referencia a la salud, no se percibe una conciencia generalizada del impacto del agua y saneamiento sobre ésta y, por lo tanto, la demanda en cuanto a salud está puesta más en la atención del hospital público y en el acceso a los tratamientos. Hay poca cultura de prevención sanitaria.

1.9.4.- Contaminación del agua

Los problemas más importantes en cuanto a la calidad del agua para los sectores no conectados a la red de agua potable son similares a los de otras regiones de América Latina: las poblaciones marginales de las zonas urbanas se ven afectadas por contaminaciones industriales y las derivadas de falta de saneamiento. Se detectan brotes importantes de diarreas infantiles, algunos de hepatitis y, en baja proporción, meningitis como los cuadros epidemiológicos más relevantes. En cuanto a la contaminación industrial los nitratos, la contaminación con plomo, cromo, arsénico, etc. se registran entre las más frecuentes. Asimismo, en el Río de la Plata se registran también niveles significativos de PCB.

Otro problema presente en varias provincias deriva de una situación importante de contaminación natural endémica de las napas por arsénico, complicación importante en zonas donde no existen

napas superficiales suficientes. Una consecuencia de este hecho es que se debe utilizar agua potabilizada para todos los usos, inclusive el de la limpieza de los espacios públicos, generando así una sobreutilización muy importante y un costo consecuente.

Asimismo, el represamiento de cursos de agua que se realiza en épocas de una profunda baja de caudal modifica el régimen de lótico a léntico aumentando la eutrofización. En el sistema de la Cuenca del Plata, estos procesos son bastante frecuentes y la explotación ganadera de la región contribuye a la contaminación dado que los desechos producidos por el ganado llegan a los cursos de agua, causando el crecimiento de algas y aumentando la eutrofización.

Otro factor de contaminación importante es la presencia de nitratos a niveles muy superiores a los compatibles con la salud humana en toda la Cuenca del Plata, con énfasis en el impacto en las zonas cercanas a Buenos Aires, Santa Fe, Rosario y Posadas.

1.9.5.- Marco legal del Derecho al Agua y Saneamiento

De conformidad con la Carta Magna, las provincias conservan todo el poder no delegado al Gobierno federal, y el que expresamente se hayan reservado por pactos especiales y, a partir de la reforma constitucional de 1994, ha quedado expresamente establecido que **corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio**. Ello implica la potestad de reglamentar las relaciones emergentes de su aprovechamiento, defensa y conservación.

En temas relacionados directa o indirectamente con los recursos hídricos, según la Constitución, la Nación ejerce jurisdicción sobre la navegación, el comercio interprovincial e internacional, las relaciones internacionales, la celebración de tratados internacionales promoviendo lo conducente a la prosperidad del país, el adelanto y bienestar de todas las provincias. Ello ha justificado regulaciones nacionales con relación a algunos usos de los cursos de agua no navegables.

En materia de medio ambiente, el art. 41 de la reforma de 1994 otorga a la Nación la facultad de dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales.

No existe una ley de aguas a nivel nacional. Sin embargo, la actual legislación nacional está constituida por un conjunto de normas que contienen disposiciones directa o indirectamente relacionadas con la materia. Entre las regulaciones de mayor importancia se pueden destacar las siguientes:

- ▶ El artículo 43 de la Constitución Nacional.
- ▶ La Ley General del Ambiente N° 25675.
- ▶ El Decreto 999/92.
- ▶ Ley nacional de Régimen de Gestión Ambiental de Aguas N° 25688.
- ▶ El Código Civil y Comercial de la Nación.
- ▶ El Código Procesal Civil y Comercial de la Nación.
- ▶ La Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24051.
- ▶ El Acuerdo Federal del Agua.
- ▶ El Pacto Federal Ambiental.
- ▶ Leyes federales como las de energía, navegación, transporte, puertos, entre otras.

Nos referiremos a ellas oportunamente en los próximos apartados.

Tratados internacionales

Los derechos al agua suficiente, aceptable, sana, física y económicamente accesible y a los servicios de saneamiento figuran en algunos de los Tratados Internacionales actualmente en vigor para la República Argentina. Los tratados en cuestión son:

- ▶ La Declaración Americana de los Derechos y Deberes del Hombre
- ▶ La Declaración Universal de Derechos Humanos.
- ▶ El Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales.

Dichos Tratados son de suma importancia para nuestro orden jurídico ya que, desde la reforma constitucional del año 1994, gozan de jerarquía constitucional. Es decir, que las disposiciones insertas en estos tratados forman parte del “bloque constitucional argentino”.

Los derechos al agua y saneamiento se encuentran establecidos en el Artículo XI de la **Declaración Americana de los Derechos y**

Deberes del Hombre referente a la preservación de la salud y el bienestar. Se establece específicamente que toda persona tiene derecho a que su salud sea preservada por medidas sanitarias y sociales relativas a la alimentación, el vestido, la vivienda y la asistencia médica, correspondientes al nivel que permitan los recursos públicos y los de la comunidad.

A su vez, en la **Declaración Universal de Derechos Humanos** los derechos mencionados se encuentran aún más explícitos. En el artículo 25 se consagra el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado que le asegure la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios.

El comentario 15 sobre el derecho al Agua del **Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales**, adoptado por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de Naciones Unidas en noviembre de 2002 provee una guía a los Estados Partes para la interpretación de los Artículos 11 (primer párrafo) y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. Según dicho comentario, el derecho de toda persona a un nivel de vida adecuado para sí y su familia y el derecho de toda persona al disfrute del más alto nivel posible de salud física y mental, deben ser interpretados en el sentido de abarcar el derecho al agua suficiente, sana, aceptable, física y económicamente accesible y al saneamiento.

Órganos de control

Por su parte, la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica, dependiente del Ministerio de Interior y Obras Públicas y Vivienda asiste supervisa y coordina el accionar del Ente Regulador de Aguas y Saneamiento (ERAS); al Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) y el Instituto Nacional del Agua (INA).

Como corolario de la máxima constitucional que otorga a las provincias jurisdicción sobre sus recursos naturales, actualmente **cada provincia tiene sus propios órganos administrativos descentralizados y entes de control** establecidos según sus leyes dictadas al efecto. Generalmente, hay un órgano administrativo dependiente de un ministerio, encargado de todas las cuestiones que tengan que ver con la política hídrica; y también encontramos entes autárquicos.

ORGANISMOS DE CONTROL SUPERVISADOS POR LA SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA Y POLÍTICA HÍDRICA

► Ente Regulador de Aguas y Saneamiento

Del Convenio Tripartito del 12 de octubre de 2006 entre el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, la Provincia de Buenos Aires y el Gobierno de CABA surge la creación del Ente Regulador de Aguas y Saneamiento (ERAS), como órgano regulador de la prestación del servicio de agua potable y cloacas en el ámbito de Capital Federal y de 17 partidos de la Provincia de Buenos Aires. Ejerce el poder de policía, de regulación y control en materia de prestación del servicio público de provisión de agua y desagües cloacales, incluyendo la contaminación hídrica en lo que se refiere al control y fiscalización de la concesionaria como agente contaminante.

► Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento

Al igual que el ERAS, es un organismo administrativo descentralizado cuya misión es organizar, administrar y ejecutar programas de infraestructura en todo el país que deriven de las políticas nacionales del sector. Tiene la función de comprender, armonizar y coordinar las estrategias y acciones provinciales y municipales, tanto sean públicas como privadas que estuvieren orientadas al mismo objetivo y que tiendan a promover: la expansión y explotación eficiente de los servicios; su regulación y control, preservando equilibradamente los derechos y obligaciones de los titulares de los sistemas, de los usuarios, y de los prestadores; y la integración y participación de empresas públicas, privadas, cooperativas, entidades comunitarias y trabajadores de la actividad en la gestión de los servicios y el financiamiento de su optimización y crecimiento en términos de sustentabilidad y eficiencia.

► El Instituto Nacional del Agua

El INA, continuador de las tareas iniciadas en 1973 por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, es otro organismo descentralizado que tiene por objetivo satisfacer los requerimientos de estudio, investigación, desarrollo tecnológico y prestación de servicios especializados en el campo del conocimiento, aprovechamiento, control y preservación del agua tendiente a implementar y desarrollar la política hídrica nacional.

1.9.5.1.- La Constitución Nacional y la Ley General del Ambiente N° 25 675

Según el **artículo 43 de la Constitución Nacional**, todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer según lo establezca la ley. Para ello, las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Para llevar a la práctica estos conceptos, por mandato constitucional se faculta a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales.

En ejercicio de sus facultades, en el año 2002, el Congreso dictó la **Ley General del Ambiente**. La presente Ley establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.

Siguiendo los lineamientos del artículo 11 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, entre sus objetivos principales se pueden destacar los siguientes:

- ▶ Asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales.
- ▶ Promover el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras, en forma prioritaria.
- ▶ Prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo.
- ▶ Establecer procedimientos y mecanismos adecuados para la minimización de riesgos ambientales, para la prevención y mitigación de emergencias ambientales y para la recomposición de los daños causados por la contaminación ambiental.

Para el logro de estos objetivos, la Ley General del Ambiente enumera los siguientes instrumentos:

- ▶ El ordenamiento ambiental del territorio.
- ▶ La evaluación de impacto ambiental.
- ▶ El sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas.
- ▶ La educación ambiental.
- ▶ El sistema de diagnóstico e información ambiental y
- ▶ El régimen económico de promoción del desarrollo sustentable.

Si bien no podríamos hablar de medidas legales específicamente referidas al agua, del análisis del artículo 43 de la Constitución Nacional y de la Ley 25 675 surgen **tres acciones dirigidas a la prevención de contaminación y protección de los recursos naturales**:

- ▶ El amparo ambiental o bien llamada acción de prevención reglada en el art. 43 de la Constitución Nacional. Procede cuando en forma actual o inminente (previo a la producción del daño) lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías.
- ▶ La acción de recomposición e indemnización subsidiaria reglada en la Ley 25 675. Tiene por objeto lograr la recomposición del ambiente mediante la restitutio in natura o restitutio pristinium, y en su defecto, la indemnización sustitutiva, con destino al Fondo de Compensación Ambiental.
- ▶ La acción de cese del daño reglada en la misma Ley. Su objeto consiste en el cese del daño. Ello implica que el daño ya se ha producido, que ha comenzado a producir sus efectos perjudiciales. No se trata de prevenir, sino de lograr que se detenga lo que ya ha comenzado y se mantiene en el tiempo. Presupone que el daño no se ha producido por un acto único que ha cesado, sino que se trata de una acción continuada.

En las tres acciones, la legitimación activa corresponde al Defensor del Pueblo, a las ONG que propendan a esos fines (de defensa ambiental), a los Estados nacional, provincial y municipal y al afectado. Siguiendo el espíritu de la reforma constitucional de 1994, la doctrina mayoritaria entiende por afectado a todo titular de un derecho subjetivo difuso o de incidencia colectiva.

En relación con la **atribución de responsabilidades y el deber de reparar**, la ley establece que quien cause el daño ambiental será objetivamente responsable de su restablecimiento al estado anterior a su producción. En caso de que no sea técnicamente factible, la indemnización sustitutiva que determine la justicia ordinaria interviniente deberá depositarse en un Fondo de Compensación Ambiental que se crea por la presente. Para una mayor garantía, la ley establece la obligación de toda persona física o jurídica, pública o privada, que realice actividades riesgosas para el ambiente, los ecosistemas y sus elementos constitutivos, de contratar un seguro de cobertura con entidad suficiente para garantizar el financiamiento de la recomposición del daño que en su tipo pudiere producir. Según el caso y las posibilidades, podrá integrar un fondo de restauración ambiental que posibilite la instrumentación de acciones de reparación.

1.9.5.2.- El Decreto 999/92

El **Decreto 999/92** aprueba el reglamento administrativo regulatorio de los distintos aspectos de los servicios públicos de provisión de agua potable y desagües cloacales de competencia de Obras Sanitarias de La Nación. Caracteriza como servicio público a las actividades de captación potabilización, transporte, distribución y comercialización de agua potable y la colección, tratamiento, disposición y comercialización de desagües cloacales, incluidos los efluentes industriales que se permiten verter al sistema cloacal.

1.9.5.3.- La Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24 051

La Ley Nacional de Residuos Peligrosos sancionada por el Congreso de la Nación en el año 1992 contiene normas específicas sobre responsabilidad civil objetiva para los residuos peligrosos. Posee un régimen de sanciones que podrán ser acumulativas frente a toda infracción a las disposiciones de esta ley, su reglamentación y normas complementarias que en su consecuencia se dicten. Dichas sanciones, se aplicarán, previo sumario que asegure el derecho de defensa, se graduarán de acuerdo con la naturaleza de la infracción y el daño ocasionado y se aplicarán con prescindencia de la responsabilidad civil penal que pudiere imputarse al infractor.

1.9.5.4.- Ley Nacional de Régimen de Gestión Ambiental de Aguas N° 25 688

La Ley Nacional de Régimen de Gestión Ambiental de Aguas N° 25688 sancionada por el Congreso de la Nación en el año 2002 **establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional.** Es importante destacar que esta norma está pendiente de reglamentación y, además, es duramente cuestionada por su dudosa constitucionalidad, y actualmente hay un proyecto de reforma en el Congreso.

Como medida de prevención establece que, la autoridad nacional podrá, a pedido de la autoridad jurisdiccional competente, declarar zona crítica de protección especial a determinadas cuencas, acuíferas, áreas o masas de agua por sus características naturales o de interés ambiental. Como medida de preservación del recurso, se llama a la creación de comités de cuencas Interjurisdiccionales con la misión de asesorar a la autoridad competente en materia de recursos hídricos y colaborar en la gestión ambientalmente sustentable de las cuencas hídricas. Exige contar con el permiso de la autoridad competente para utilizar las aguas objeto de la ley aclarándose que en caso de cuencas Interjurisdiccionales, cuando el impacto ambiental sobre alguna de las otras jurisdicciones sea significativo, será vinculante la aprobación de dicha utilización por el Comité de Cuenca correspondiente, el que estará facultado para este acto por las distintas jurisdicciones que la componen.



1.9.5.5.- El Código Civil y Comercial de la Nación y el Código Procesal Civil y Comercial de la Nación

Según el **Código Civil y Comercial**, son bienes públicos del Estado las aguas que corren por cauces naturales y toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general, incluidas las aguas subterráneas, sin perjuicio del ejercicio regular del derecho del propietario del fundo de extraer dichas aguas en la medida de su interés y con sujeción a la reglamentación. Consecuentemente, el agua pertenece a los particulares en el único caso de tratarse de caudales que nacen y mueren dentro de un mismo fundo privado, o en el supuesto de tratarse de aguas de lluvia embalsadas en receptáculos naturales o artificiales por personas que las emplean en su propio beneficio. En todos los casos debe tratarse de aguas que, por su ubicación o volumen, no tengan aptitud para satisfacer necesidades comunitarias, pues en este último supuesto, aunque se hallen en inmuebles privados, serán de propiedad del Estado, sin perjuicio del uso que de ellas hagan todos los habitantes individualmente considerados.

Tanto el Código Civil y Comercial como el Procesal Civil y Comercial contienen normas que limitan el ejercicio de los derechos individuales y permiten el acceso a medidas legales preventivas y complementarias a las tres acciones descriptas en párrafos anteriores:

1) Límite al ejercicio de los derechos individuales sobre bienes: en su art. 240, el Código limita el ejercicio de los derechos individuales estableciendo que este debe ser compatible con los derechos de incidencia colectiva. De esta manera, debe conformarse a las normas del derecho administrativo nacional y local dictadas en el interés público y no debe afectar el funcionamiento ni la sustentabilidad de los ecosistemas de la flora, la fauna, la biodiversidad, el agua, los valores culturales, el paisaje, entre otros, según los criterios previstos en la ley especial. Se le asigna entonces, una función social a los derechos individuales no debiendo ejercerse en forma abusiva sobre los bienes del medio ambiente.

2) Acción preventiva: la acción preventiva del art. 1710 procede cuando una acción u omisión antijurídica hace previsible la producción de un daño, su continuación o agravamiento. Está acción no procede solo para casos en los que se busca evitar la producción de un daño, sino también para aquellos en los cuales se pide el cese de acto dañoso o se trata de impedir su agravación. El daño a evitar puede serlo

a las personas, a las cosas; un daño a un derecho subjetivo, a intereses difusos o colectivos, como el derecho al medio ambiente sano, y a intereses individuales homogéneos. Solo debe probarse la anti-juridicidad y, en los casos del derecho al medio ambiente, cualquier persona que demuestre un interés razonable en prevenir daños a tal derecho, tiene legitimación para deducir acción preventiva.

3) Daño temido: la denuncia del daño temido procede del artículo 623 bis del Código Procesal Civil y Comercial de la Nación, que establece: “Quien tema que de un edificio o de otra cosa derive un daño grave e inminente a sus bienes, puede solicitar al juez las medidas de seguridad adecuadas, si no mediare anterior intervención de autoridad administrativa por el mismo motivo”. Una vez recibida la denuncia, el juez se constituirá en el lugar y si comprobare la existencia de grave riesgo, urgencia en removerlo y temor de daño serio en inminente, podrá disponer las medidas encaminadas a hacer cesar el peligro. Si la urgencia no fuere manifiesta requerirá la sumaria información que permitiere verificar, con citación de las partes y designación de perito, la procedencia del pedido. La intervención simultánea o ulterior de la autoridad administrativa determinará la clausura del procedimiento y el archivo del expediente. Las resoluciones que se dicten serán inapelables y podrán imponerse sanciones conminatorias.

4) Medidas cautelares: las medidas cautelares tienen como objetivo impedir que el derecho cuyo reconocimiento o actuación se pretende obtener a través de otro proceso, pierda virtualidad o eficacia durante el tiempo que transcurre entre la iniciación del proceso y el pronunciamiento de la sentencia definitiva. Es una medida que se ordena inaudita parte, es decir, sin oír previamente la parte contraria; subsisten mientras duren las circunstancias que las determinaron y son accesorias al proceso principal.

La procedencia de estas medidas depende de la verosimilitud del derecho invocado como fundamento de la pretensión principal; del temor fundado de que ese derecho se frustre o sufra menoscabo durante la sustanciación del proceso tendiente a tutelarlos (peligro en la demora), y de la prestación de una contra cautela por parte del sujeto activo. A los efectos de la tutela ambiental, podemos citar, entre las más importantes, la prohibición de innovar. Consiste en la conservación de un estado y tiene como objetivo la interrupción y paralización de un emprendimiento de cualquier tipo, del que se derivaran eventuales daños al medio ambiente.

1.9.5.6.- El Acuerdo Federal del Agua y el Pacto Federal Ambiental

Desde mayo de 2005 está en consideración un proyecto de ley para adoptar como lineamientos de política nacionales los “Principios Rectores de Política Hídrica para la República Argentina y otras cuestiones conexas”. Dichos principios fueron adoptados por el **Acuerdo Federal del Agua** que no tiene rango de ley. Allí quedan consensuados los fundamentos de una política hídrica nacional, federal, racional y aglutinante de todos los sectores. En ejercicio de las facultades concurrentes entre las provincias y la Nación, este acuerdo logra amalgamar principios de política que integran los aspectos sociales y ambientales relacionados con el agua como parte de las actividades productivas de la sociedad, incorporando principios básicos de organización, gestión y economía de los recursos hídricos en concierto con principios de protección del recurso.

Dicho acuerdo dedica un capítulo a la contaminación de las aguas titulado “El agua y el ambiente”. En referencia a las acciones contra la contaminación establece que su existencia exige asumir una estrategia integral conformada por acciones consistentes y sostenidas en el tiempo que permitan verificar la conservación de la calidad del agua o el cumplimiento de metas progresivas de la restauración de su calidad. Tal estrategia involucra la definición de programas de monitoreo y control de emisión de contaminantes diferenciados para cada cuenca, con premisas de diseño e implementación fijadas en función de las características contaminantes prioritarias de los vertidos provenientes de fuentes fijas y dispersas, de las características de los cuerpos receptores y del destino asignado a estos últimos.

En el año 2009 se creó por la Ley 26 438 el Consejo Hídrico Federal, institución destinada a la concertación y coordinación de la política hídrica federal.

El Pacto Federal Ambiental tiene por objetivo promover políticas ambientalmente adecuadas en todo el territorio nacional, estableciendo acuerdos marco entre los estados federales y entre estos y la Nación, que agilicen y den mayor eficiencia a la preservación del ambiente. En materia de desarrollo de una conciencia ambiental, los estados signatarios se comprometen a impulsar y adoptar políticas de educación, investigación, capacitación y participación comunitaria que conduzcan a la protección y preservación del ambiente.

1.9.6.- Exigibilidad del derecho

El derecho es exigible y cada jurisdicción provincial tiene su sistema particular. Según el principio de “Igualdad ante la Ley” consagrado en el art. 17 de la Constitución Nacional, todos los habitantes son iguales ante la ley y, por ende, tienen igual acceso a la defensa, exigencia y reclamo de sus derechos constitucionales. En ámbito de contralor administrativo del ERAS se prevé un mecanismo reglamentado por sus resoluciones 83/98 y 52/99 y el decreto 999/92. Para realizar un reclamo por deficiente prestación del servicio o cuando se produjeran alteraciones en las facturas que no coincidan con el régimen tarifario publicado, el usuario debe haber realizado previamente el reclamo en Aguas Argentinas S.A. Es decir que el ERAS actúa en segunda instancia, cuando el reclamo formulado al concesionario no obtuvo la respuesta esperada. Asimismo, cabe destacar que la Ley de Defensa del Consumidor N° 24 240 complementa este procedimiento en el capítulo “Usuarios de servicios Públicos Domiciliarios” y establece que sus normas son de aplicación supletoria.

Otro medio de protección al usuario puede darse ante la Justicia por medio de la acción de amparo. Esta medida, consagrada por la Constitución Nacional, constituye una vía expedita y rápida, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de las autoridades públicas o de particulares (que en nuestro caso pueden ser las prestatarias del servicio), que en forma actual e inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por la Constitución Nacional, un tratado o una ley. Podrán interponer esta acción contra cualquier forma de discriminación y en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente, al usuario y al consumidor, así como a los derechos de incidencia colectiva en general, el afectado (entendido en el sentido amplio: quien detente un simple interés), el defensor del Pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines.

Hace aproximadamente 25 años, y especialmente con anterioridad a la reforma constitucional de 1994, parte de la jurisprudencia en la materia establecía que *resulta improcedente la acción de amparo a fin de que las municipalidades, a través de su Dirección de Obras y Servicios Públicos, reanuden el suministro de agua potable a la actora en su domicilio, ya que el servicio de distribución de aguas por parte de aquellas, normalmente a cargo de Obras Sanitarias de la Nación [en aquel entonces] no configura una conducta manifiesta-*

mente ilegal o irrazonable, pues no hay fundamento legal, ley, ordenanza o decreto que obligue a brindar tal prestación. La citada falta de reglamentación legal hace caer tal actividad dentro de las facultades discrecionales del poder administrador. En aquel entonces, la doctrina criticaba estos fundamentos positivistas aludiendo que la negativa a la provisión del agua potable constituye una violación indiscutible a los derechos humanos.

Actualmente existe un notable avance no solo en materia de acciones colectivas, sino también en la procedencia de la acción aun cuando no exista regulación legal. *La falta de regulación legal no autoriza a ocluir el ejercicio de los derechos garantizados a través de los sujetos constitucionalmente legitimados para hacerlo. Los jueces debemos acordar protección a los derechos y garantías constitucionales, sin excusarnos en la falta de una ley que los reglamente o de un procedimiento legal apto para su ejercicio, pues éstos no han sido reconocidos como simples fórmulas teóricas, sino que poseen fuerza obligatoria para los individuos para las autoridades y para toda la Nación.*

1.9.7.- Financiamiento del agua y saneamiento

El agua y saneamiento se ha financiado hasta el presente, por parte del sector público, a través de préstamos del BID y del BM, y a través del sector privado fundamentalmente con modelos tipo *project financing*, en muchos casos tomando dinero a baja tasa de fuentes internacionales. En el marco del Plan Nacional del Agua, se han estimado 22 mil millones de dólares de inversión para lograr el 100% de acceso al agua potable y 75% a sistemas de saneamiento. En cuanto a las tarifas, estas se fijan conforme al criterio de cada Provincia y, generalmente, no reflejan el valor económico del agua. También existe el mecanismo de financiamiento por los futuros beneficiarios de las obras de agua y cloacas a través de contribuciones de los propietarios de las viviendas. Esta modalidad sola o complementaria de otras fuentes de recursos ha sido utilizada en varios municipios del país.

El Acuerdo Federal del Agua del año 2003 exige entre sus principios rectores de política hídrica y bajo el título “Agua Potable y Saneamiento como Derecho Humano Básico”, la integración de las cuestiones relativas al agua potable y al saneamiento en las políticas de gestión de los recursos hídricos y la disponibilidad de recursos financieros permanentes para mejorar y aumentar las coberturas de agua potable y

saneamiento para la totalidad de la población urbana y rural. Bajo el título de “Uso equitativo de aguas”, establece que todos los habitantes de una cuenca tienen el derecho a acceder al uso de las aguas para cubrir sus necesidades básicas de bebida, alimentación, salud y desarrollo. La promoción por parte del Estado del principio de equidad en el uso del agua se manifiesta asegurando el acceso de los servicios básicos de agua potable y saneamiento a toda la población urbana y rural y asignando recursos hídricos a proyectos de interés social y promocionar el aprovechamiento del agua en sus potenciales usos.

La **Ley del Régimen de Gestión Ambiental de Aguas** establece que la autoridad nacional de aplicación deberá elaborar y actualizar el Plan Nacional para la preservación, aprovechamiento y uso racional de las aguas, que deberá, como sus actualizaciones ser aprobado por ley del Congreso de la Nación. Dicho plan contendrá como mínimo las medidas necesarias para la coordinación de las acciones de las diferentes cuencas hídricas.

1.9.8.- Estrategia nacional

La Estrategia Nacional se refleja en los “**Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina**”. El Gobierno Nacional, durante la presidencia del Dr. Kirchner, produjo un documento inspirado en los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas. Constituye un avance importante, pero la realidad indica que será encarado en un contexto institucional donde existen deficiencias severas y, a veces inconciliables, en la coordinación jurisdiccional (en materia de recursos naturales) por la que atraviesa el Estado Nacional con las provincias. Propone asegurar, entre otras cosas, un medio ambiente sostenible reduciendo en dos tercios la proporción de la población sin acceso al agua potable y sin acceso al saneamiento básico entre 1990 y el 2015.

Para el período 2016-2019, el agua fue elegida como un pilar de la acción del Gobierno de la República Argentina. A partir de su uso responsable y de un mejor aprovechamiento, se propone el camino hacia la disminución de la pobreza en sintonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (ONU). El Plan Nacional del Agua (PNA) fue elaborado dentro de este marco y, con el objetivo de implementar una política hídrica que contemple dichos objetivos. Propusieron como meta alcanzar el 100% de cobertura de agua potable y el 75% de cloacas en zonas urbanas.

1.10.- Conclusiones

El debate por los recursos naturales se inició a fines de los años 60 y formó parte de la confrontación ideológica entre los países desarrollados del “Norte” y los subdesarrollados o del “Sur”. La llamada “Guerra de los Modelos Mundiales” muestra con toda claridad este debate ideológico y el lugar que los recursos naturales ocupan en cada uno de los Modelos.

Más de cuarenta años de debate y la incontrastable realidad han llevado a que hoy todos concuerden en que el desarrollo humano y social de las grandes masas pobres del planeta es condición necesaria (aunque no suficiente) para que los recursos naturales puedan seguir siendo el sostén de la vida humana en el largo plazo.

Para ello, el cambio de valores y del paradigma de la “sociedad de derroche” deben ser modificados con urgencia y reemplazados por los valores relativos a la **sustentabilidad ambiental, a la inclusión social y al desarrollo de las sociedades en su conjunto.**

En los años 70 se apelaba a los valores de la solidaridad para promover el cambio; en la actualidad, como dijera Ricardo Diez Hochleitner, “si no lo hacemos por filantropía debemos hacerlo por egoísmo ilustrado”. Esto simplemente quiere decir que no hay alternativa, pues la “carga” humana del planeta que crece exponencialmente habiendo llegado hoy a 7000 millones de habitantes, sumado a un “estilo predominante” de desarrollo caracterizado por el consumo desenfrenado de una parte de la población y la total escasez de satisfacción de las necesidades humanas por más de la mitad de la población mundial, hacen imposible la convivencia en el planeta.

El sistema científico-tecnológico debe disponer de los recursos económicos y humanos para mejorar las alternativas energéticas que están penetrando en el mercado mundial (solar, eólica, celdas de combustible a hidrógeno, biocombustibles, mareomotriz, etc.) e ir reemplazando con ritmo sostenido las fuentes energéticas que utilizan combustibles fósiles. Dos razones centrales justifican el esfuerzo: la disminución de disponibilidad de estos últimos y la necesidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero para minimizar el eventual impacto antropogénico en el cambio climático global.



Creemos que es importante señalar que, aún en el caso de los escépticos con referencia al impacto humano en esta fase de calentamiento global, la existencia de una mínima hipotética posibilidad de que efectivamente las actividades humanas estuvieran incrementando la temperatura global justifican realizar la transición a las energías limpias. El riesgo de suponer que nada pasará es demasiado grande.

La transición energética, por otra parte, no es voluntarista, requiere de tiempos de transición que, si bien sostenida, no puede ser “acelerada” más allá de las capacidades reales de sustitución en cada momento. Es por ello que, conforme a los estudios más serios de la actualidad, **la transición energética se completará en un período de entre 30 y 50 años**. Es un camino que es urgente tomar, pero que es largo y trabajoso.

El agua dulce en Argentina es el objeto de análisis de este trabajo, en tanto es el recurso primordial de sostén de la vida humana. El análisis de los recursos hídricos de Argentina nos muestra que se trata de un país con gran riqueza de éstos, con algunas zonas menos beneficiadas que otras, pero con gran disponibilidad del recurso en términos de país.

El informe para la Argentina del Panel Internacional de Cambio Climático de Naciones Unidas, si bien es solamente un “modelo de simulación” y tiene todas las limitaciones inherentes a estos modelos que no pueden tomarse como “predicciones”, señala que el país conservaría sus capacidades hídricas con posibilidad de ciertos stress hídrico en algunas zonas como áreas cordilleranas y exceso de agua en otras tales como la Cuenca del Plata, también este modelo interpreta que hay zonas que no sufrirían grandes modificaciones o, eventualmente, mejora



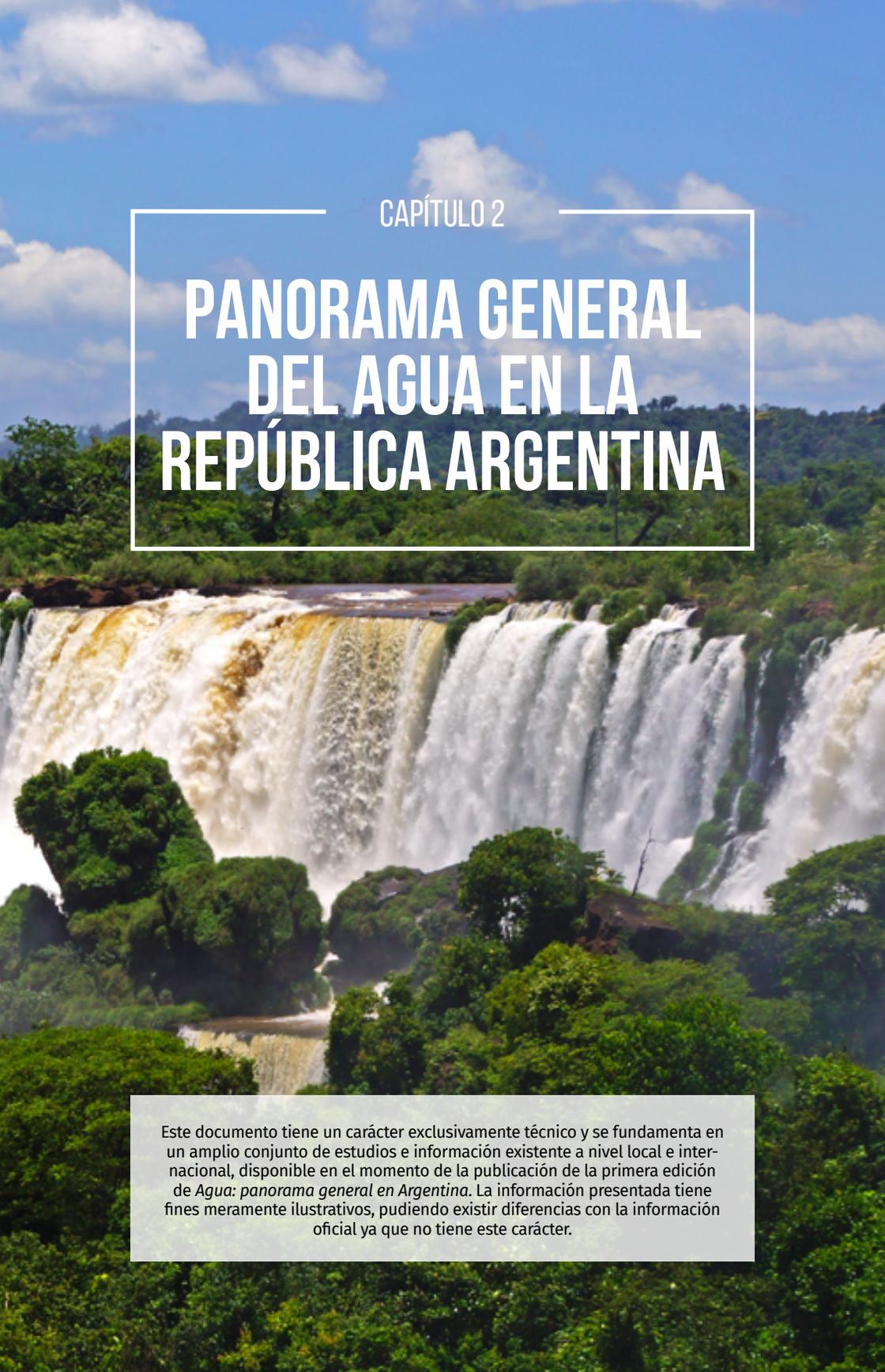
en sus disponibilidades de agua, como es el caso de la Meseta Central Patagónica. En síntesis, la perspectiva hídrica para la Argentina, aún ante el eventual cambio climático es auspiciosa dentro de las asimetrías que caracterizan la distribución del recurso *ab initio*.

El trabajo nos muestra también que el país debiera mejorar la cantidad y la calidad de datos con referencia a la disponibilidad y acceso al agua, hay provincias en las cuales los datos son escasos y existe un blanco en la información que debiéramos mejorar. Un caso de ello es la provincia de Río Negro.

En cuanto al acceso al agua potable por parte de la población, la situación ha mejorado sensiblemente en la última década y el país está trabajando activamente para cumplir con las Metas de Desarrollo del Milenio. Para el logro de este objetivo en cuanto al capítulo que nos ocupa, es necesario que se profundicen las acciones vinculadas al saneamiento que, al igual que en la mayoría de los países, están más retrasadas que las de provisión de agua potable.

Finalmente, la visión global de los contaminantes, que son más o menos constantes en los recursos hídricos del país, nos han dado, de manera implícita, una “hoja de ruta” para resolver los temas de contaminación. El conocer los contaminantes y las cuencas que son afectadas nos dirige hacia sus fuentes, sean estas industriales, agrícolas o de desechos cloacales. Conforme a la predominancia habrá que mejorar las plantas de tratamiento de las ciudades, reforzar el control sobre los efluentes industriales, orientar mejor el uso de los agroquímicos o eliminarlos en determinadas circunstancias y lugares, y, sobre todo, educar a la población para preservar la cantidad y la calidad del recurso.





CAPÍTULO 2

PANORAMA GENERAL DEL AGUA EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Este documento tiene un carácter exclusivamente técnico y se fundamenta en un amplio conjunto de estudios e información existente a nivel local e internacional, disponible en el momento de la publicación de la primera edición de *Agua: panorama general en Argentina*. La información presentada tiene fines meramente ilustrativos, pudiendo existir diferencias con la información oficial ya que no tiene este carácter.

2.1.- Visión global a nivel país

2.1.1.- Aspectos generales

La República Argentina está ubicada en el extremo sur del continente americano. Se extiende también sobre el continente antártico e Islas del Atlántico Sur y ocupa una superficie total de 3 761 274 km². La porción continental americana de Argentina se extiende entre los 22° y 55° de latitud Sur, cubriendo 2 791 810 km². Considerando solamente esta parte de su territorio, la República WArgentina es el segundo país más extenso de América del Sur y el octavo en el mundo.

La República Argentina es un país federal integrado por 23 provincias y una ciudad autónoma, Buenos Aires (ver Figura 1), cada una con poderes políticos, administrativos y económicos propios. Las provincias se dividen en partidos o departamentos. La ciudad Autónoma de Buenos Aires es la capital de la Nación y sede del Gobierno Federal. **La Constitución Nacional expresamente establece que corresponde a las provincias el dominio originario de sus recursos naturales, entre ellos, el agua.**

2.1.1.1.- Clima. Precipitaciones

La variada topografía, que comprende grandes llanuras como la pampa y zonas montañosas (ver Figura 2), y los diferentes climas, que van desde subtropical en el Norte del país hasta clima fríos en el sur (ver Figura 3), determinan una gran diferencia en las precipitaciones medias anuales según la zona o región del país que se trate. Las precipitaciones pueden ir desde menos de 50 mm en ciertas regiones del Oeste del país hasta los 5000 mm en algunas regiones (selva húmeda) de los Andes del Sur (ver Figura 4).

2.1.1.2.- Regiones naturales

Las características del suelo, la cobertura vegetal, el relieve y el clima condicionan la distribución del agua precipitada entre los ríos, lagos, acuíferos, napas freáticas y otros cuerpos de agua. Dichos factores inciden sobre la cantidad de agua de lluvia que se infiltra para recarga de las napas freáticas, la erosión del agua sobre la superficie del suelo, la magnitud de las crecidas de los ríos y la erosión en los cauces.

La gran extensión longitudinal de la Argentina (de aproximadamente 3700 km) y su rango de altitud (hasta aproximadamente 7000 msnm) contribuyen a la **significativa heterogeneidad climática y geomorfológica** del país, que se manifiesta en el número de regiones ricas en biodiversidad, en altos niveles de endemismos y en cuencas hidrográficas de variadas características. Al respecto vale citar que, de los 178 ecosistemas terrestres identificados para América Latina y el Caribe, 18 se encuentran en Argentina.

Las características del clima, del relieve y del tipo de suelo determinan regiones naturales o ecorregiones (ver Figura 5). Las regiones ecológicas o ecorregiones son “grandes áreas, relativamente homogéneas, en las que hay diferentes comunidades naturales que tienen en común un gran número de especies y condiciones ambientales. Los principales procesos ecológicos que mantienen la biodiversidad (por ejemplo, la conexión entre ambientes naturales que permite la reproducción de muchas especies) y los servicios que los ecosistemas naturales proporcionan a la gente (por ejemplo, la disponibilidad y calidad de agua dulce) son evidentes a escala ecorregional” (FVS, 2005).

2.1.1.3.- Humedales

Los humedales son extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, ya sean de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Constituyen ecosistemas de gran importancia por los procesos hidrológicos y ecológicos que en ellos se desarrollan y la diversidad biológica que sustentan.

La **Convención sobre los Humedales** es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Fue adoptada en la ciudad iraní de Ramsar en 1971 y entró en vigor en 1975; es el único tratado global relativo al ambiente que se ocupa de un tipo de ecosistema en particular.

Hasta 2011, Argentina ha incluido veinte sitios en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (Sitios Ramsar) que ocupan en total una superficie de 5 318 136 hectáreas.

Figura 1: Mapa Político de la República Argentina



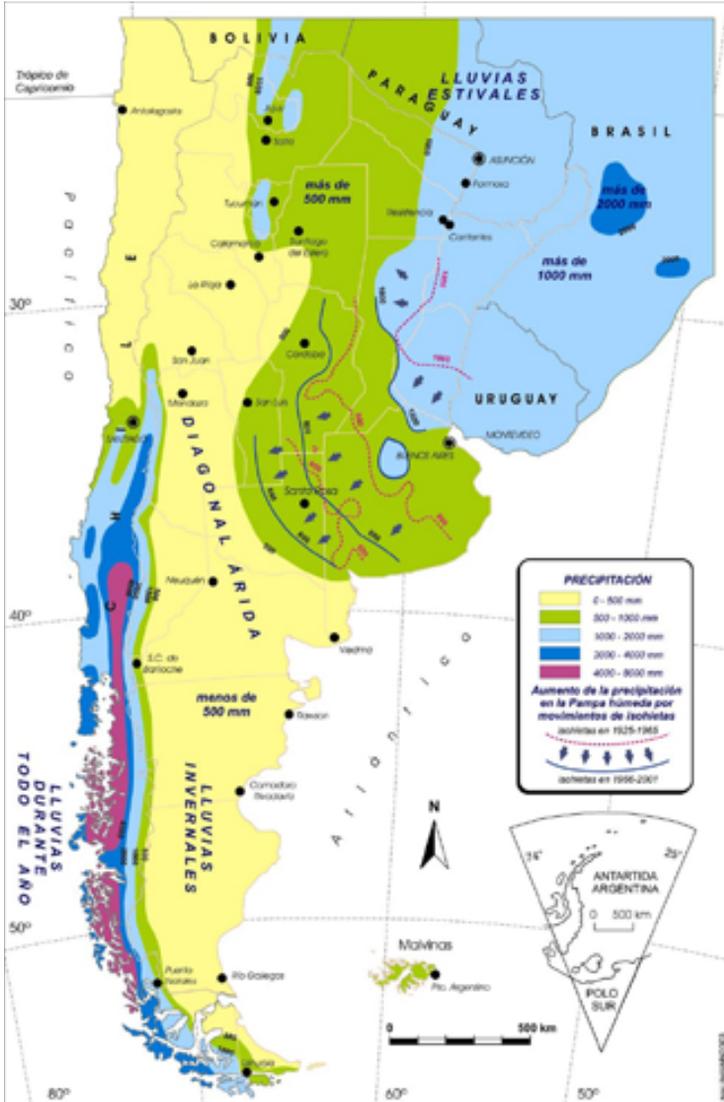
Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Figura 3: Regiones climáticas de la República Argentina



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Figura 4: Precipitaciones medias anuales de la República Argentina



Fuente: Naumann, M, Madariaga, M. Atlas Argentino. Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, INTA-GTZ, 2003.

Figura 5: Grandes regiones naturales de la República Argentina



Fuente: Educ.ar. Recuperado de <https://www.educ.ar/recursos/89787/mapas-de-america-la-argentina-y-planisferios>.

Figura 6: Distribución de humedales en la República Argentina



Fuente: Neiff y Malvárez. Grandes Humedales Fluviales. Documento del Curso-Taller "Bases Ecológicas para la Clasificación e Inventario de Humedales en Argentina, 2004.

Figura 7: Mapa de Sitios RAMSAR



Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

2.1.1.4.- Cuencas hídricas

Las cuencas hídricas argentinas (ver Figura 8) se pueden clasificar en tres grupos principales:

- ▶ Cuencas de la Vertiente Atlántica.
- ▶ Cuencas de la Vertiente Pacífica.
- ▶ Cuencas endorreicas o cerradas.

Existen también otras cuencas sin desagüe, arreicas, ubicadas en el centro-oeste de la llanura chaqueña, el oeste de la llanura pampeana y en algunas zonas de la Patagonia.

La **Vertiente Atlántica** comprende los sistemas hidrográficos más importantes, entre ellos, los ríos que forman la Cuenca del Plata y los grandes ríos de la Patagonia, como el río Colorado y el río Negro.

La **Vertiente Pacífica** está formada por pocos ríos. Estos tienen recorridos relativamente cortos, pero revisten gran importancia energética y valor turístico.

Red hidrológica

Atendiendo la necesidad de contar con información de base acerca de la hidrología de la Argentina, el país cuenta con la Red Hidrológica Nacional (gestionada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación) con un total de 409 estaciones activas entre las que se cuentan estaciones de medición de caudales, estaciones de medición de alturas del agua y estaciones meteorológicas, tal como se puede observar en la Figura 9.

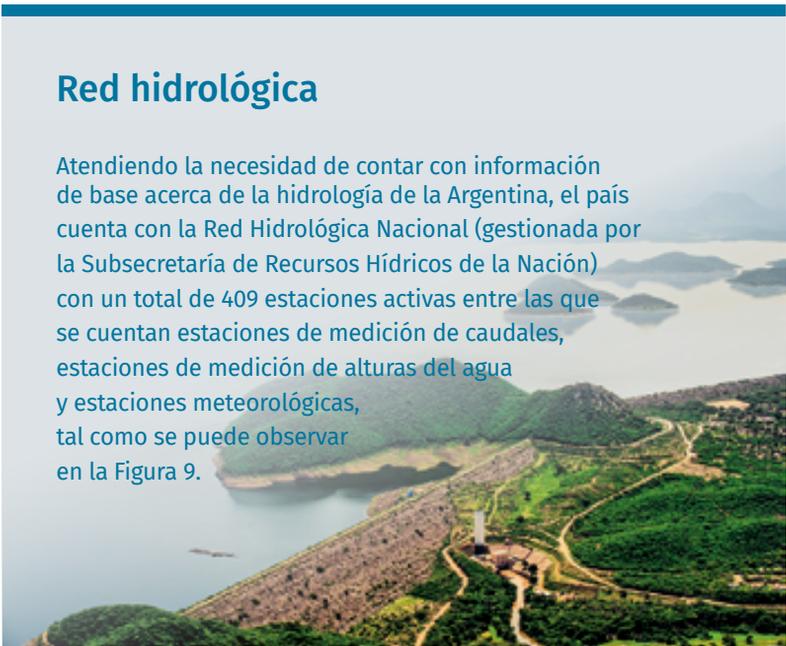


Figura 8: Cuencas Hidrográficas



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Figura 9: Estaciones de Aforo de la Red Hidrológica Nacional



Fuente: Sistema Nacional de Información Hídrica / Red Básica. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

2.1.2.- Disponibilidad de agua

2.1.2.1.- Agua superficial

Considerando las precipitaciones anuales a nivel país, se pueden distinguir las siguientes tres regiones climáticas que condicionan la distribución del agua superficial (ver Tabla 1):

- ▶ **Húmeda:** precipitaciones mayores a 800 mm anuales.
- ▶ **Semiárida:** precipitaciones entre 500 mm y 800 mm anuales.
- ▶ **Árida:** precipitaciones menores a 500 mm anuales.

Aproximadamente el 85% del valor de la producción industrial y el 80% de la producción agropecuaria se desarrolla en la región húmeda.

La disponibilidad de recursos hídricos superficiales en las distintas regiones del país sigue el mapa de distribución de precipitaciones y su valor acumulado anual. Ello explica el hecho de que, si bien los recursos hídricos superficiales alcanzan un caudal medio anual del orden de los 26 000 m³/s, existe una **distribución espacial y temporal muy desigual sobre el territorio**, ya que el 85% del total del agua superficial corresponde a la Cuenca del Plata con el 33% del territorio, mientras que las cuencas de áreas áridas y semiáridas, con el 11% del territorio, disponen de menos del 1 % del total del agua superficial. En total, más del 75 % del territorio nacional presenta condiciones áridas y semiáridas, y hay extensas regiones cuya disponibilidad hídrica está por debajo del índice de estrés hídrico publicado por el PNUD (1000 m³/año habitante).

Tabla 1: Distribución del agua superficial en el sector continental americano de la Argentina

Región	Húmeda	Semiárida	Árida
Precipitación anual	> 800 mm	500-800 mm	< 500 mm
Superficie	665 000 km ²	405 000 km ²	1 710 000 km ²
% Superficie del país	24%	15%	61%
Densidad poblacional	40 hab/km ²	2,3 hab/km ²	1,1 hab/km ²
% Población del país	68%	25%	7%

Fuente: Banco Mundial, 2000.

Tabla 2: Aportes por vertiente y por sistema

Vertiente	Sistema	Superficie drenada (km ²)	Principales cuencas	Caudal medio (m ³ /seg)
Atlántica	Paraná	3 092 000 (a)	Paraná, Iguazú, Santa Lucía, Corrientes, Guayquiraró, Feliciano, Gualguay, Arrecifes	22 031 (a)
	Paraguay		Paraguay, Pilcomayo, Bermejo	
	Uruguay		Uruguay, Pepirí-Guazú, Aguapey, Mirinay, Mocoletá, Gualguaychú	
	Río de la Plata y Provincia de Buenos Aires hasta el río Colorado	181 203	Plata, Salado	147
	Colorado	92 840	Colorado, Vinchina, Jáchal, San Juan, Mendoza, Desaguadero, Tunuyán, Diamante, Atuel	319
	Ríos Patagónicos	356 033	Neuguén, Limay, Negro, Chubut, Senguerr y Chico	1941
Pacífico	Aportes al Océano Pacífico	33 455	Hua-Hum, Manso y Puelo, Futaleufú, Carrenleufú y Pico, Simpson, Pueyrredón, Mayer, Vizcachas, Fagnano	1212
Cuencas Endorreicas	Mar Chiquita, Región Serrana, Pampeana y Salares (b)	298 056		186
Total		4 053 587		25 836

Notas: (a) El caudal medio incluye el 100 % del caudal del río Uruguay y la superficie consignada es el total de la cuenca de aporte. En territorio nacional esta última es 918.000 km². (b) No incluye arroyos de la Puna.

Fuente: Balance Hídrico de la República Argentina. INCYTH-UNESCO, 1994.

2.1.2.2.- Agua subterránea

Los estudios y relevamientos para evaluar la calidad y potencialidad de los acuíferos de las principales regiones hidrogeológicas son escasos, salvo en las provincias de Mendoza y San Juan, donde hay una gran dependencia de este recurso, y algunas zonas del Noroeste y de la Región Pampeana. Por ello, la información sobre la disponibilidad de agua subterránea en todo el país es limitada y debe ser profundizada. Recientemente con cooperación de organismos multilaterales, Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay han realizado estudios sobre el acuífero Guaraní, uno de los mayores cuerpos de agua subterránea del mundo, que estos cuatro países comparten.

Tabla 3: Principales acuíferos estudiados

Ubicación	Tipo de acuífero	Prof. agua (m)	Caudal (m ³ /h)	Salinidad (mg/l)	Clase riego	Prof. pozos (m)
Valle Inferior Río San Francisco	Confinado	140	130	200	C2 S3	170
Cono tucumano	Semiconfinado	60	150	500	C2 S1	150
Embalse Río Hondo	Confinado	60	300	200	C2 S1	200
Valle Santa María	Libre semiconfinado	50	150	200	C2 S1	70
Valle de Catamarca	Libre semiconfinado	30	150	300	C2 S3 C2 S1	80
Sierra de Córdoba	Semiconfinado	100	--	--	S2 / 4	--
Valle de Contara	Semiconfinado	50	200	1.600	C3 S1/2	80
Abanico del río San Juan	Cautivo	200	150	700	C1/3 S1/3	300
Abanico ríos Mendoza y Tunuyán	Semiconfinado	90	110	1.200	C3 S1	150
Abanico ríos Diamante y Atuel	Semiconfinado	80	150	1.800	C3 S1	150
Valle río Tunuyán	Semiconfinado	80	120	600	CC1 S1/2	120
Cuenca Paranaense	Semiconfinado	40	60	600	C2 S2	60
NO Corrientes	Semiconfinado	10	40	200	CC1 S1/2	40
Bahía Blanca	Confinado	700	330	1.000	C2 S1	900

Fuente: INCYTH, 1991.

2.1.3.- Usos consuntivos del agua en Argentina

La información existente en la República Argentina referida a la cantidad de agua utilizada para consumo humano, industrial, minero, agropecuario, etc., está muy dispersa para algunos usos y es muy limitada en otros, y su disponibilidad varía también según la región. La multiplicidad de entidades del sector público y del sector privado que, con distintos objetivos, intervienen en la gestión del agua en las diferentes jurisdicciones es, probablemente, la principal causa de esta situación.

En la Tabla 4 se indica la cantidad de agua, superficial y subterránea, correspondiente a diferentes usos consuntivos a nivel país en el período 1993–1997 en la República Argentina, según un informe del Banco Mundial del Año 2000. Sin embargo, esta información, debido a lo explicado, debe ser considerada de carácter aproximado.

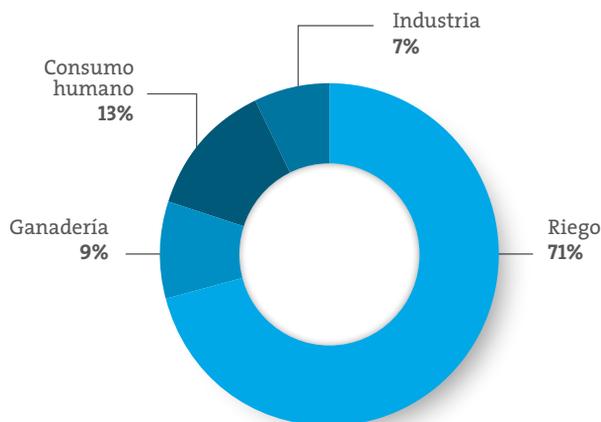
Los datos del Programa AQUASTAT de la FAO correspondientes al año 2000 señalan modificaciones en los porcentajes. De todos modos, son de aplicación las mismas consideraciones ya realizadas respecto de que los datos deben ser considerados aproximados y solamente de carácter orientativo debido a la incertidumbre en lo que respecta a la información de base existente para realizar las estimaciones.

Tabla 4: Cantidad de agua, superficial y subterránea, correspondiente a diferentes usos consuntivos a nivel país para la República Argentina. Período 1993-1997

Usos consuntivos	Agua superficial (millones m ³ /año)	%	Agua Subterránea (millones m ³ /año)	%	Total (millones m ³ /año)
Riego	18 000	75	6000	25	24 000
Ganadero	1000	34	2000	66	3000
Consumo humano	3500	78	1000	22	4500
Industrial	1500	60	1000	40	2500
Total	24 000	70	10 000	30	34 000

Fuente: Banco Mundial, 2000.

Figura 10: Usos consuntivos del agua, porcentajes sobre el total estimado (34 000 millones m³/año). Período 1993-1997



Fuente: Banco Mundial, 2000.

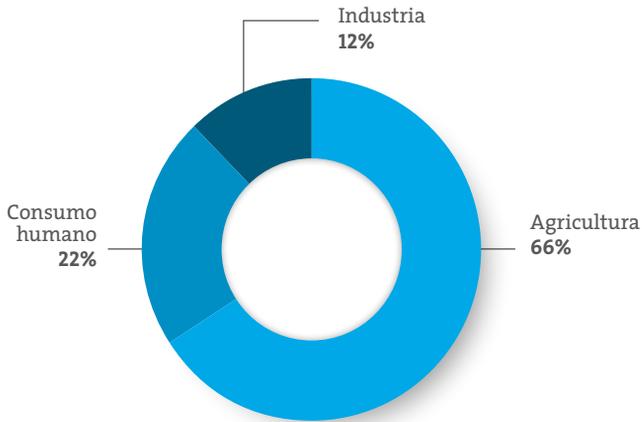
Tabla 6: Extracción de agua según diferentes usos consuntivos

Uso	Año 2000 (millones m ³ /año)	% Año 2000	Año 2005 (millones m ³ / año)
Extracción de agua agrícola	21 520	66,1	--
Extracción de agua para consumo humano	7071	21,7	7820
Extracción de agua industrial	3975	12,2	4396
Extracción total de agua superficial y subterránea	32 570	100	12 216

Fuente: FAO – AQUASTAT.

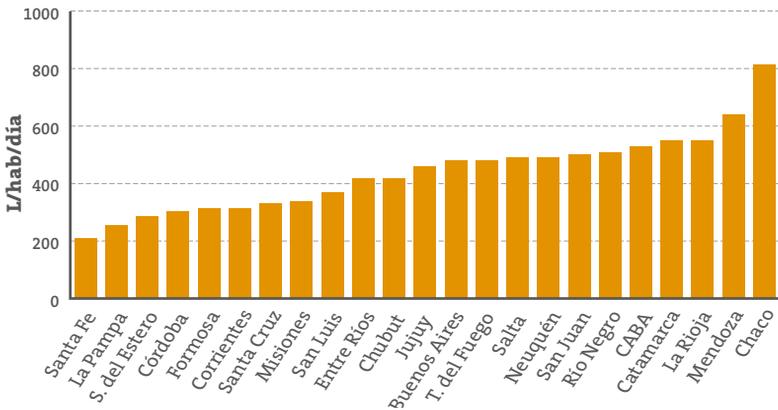
El mismo Programa AQUASTAT estimó para el año 2005 que la extracción de agua para consumo humano en Argentina fue de 7820 millones de m³ y la extracción de agua industrial fue de 4396 millones de m³.

Figura 11: Extracción de agua según diferentes usos consuntivos



Fuente: FAO - AQUASTAT.

Figura 12: Consumo de agua por habitante y por día. Año 2004

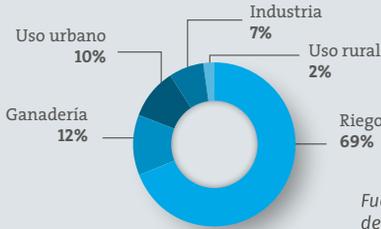


Fuente: S AyDS, sobre la base de información de ENOHSA.

El gráfico se preparó sobre la base de datos provisorios obtenidos de una muestra de empresas productoras de agua en localidades de más de 5000 habitantes realizada por el Sistema Permanente de Información de Saneamiento del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA). Los valores incluyen tanto el consumo doméstico como el de sectores productivos (1).

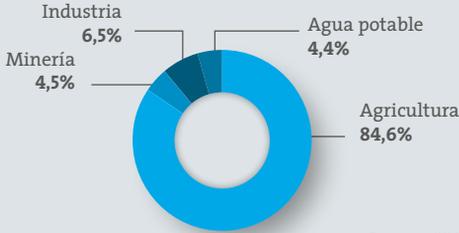
Usos consuntivos del agua en otros países

Figura 13: Brasil



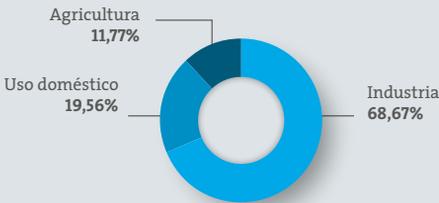
Fuente: Agencia Nacional de Aguas - Brasil.

Figura 14: Chile



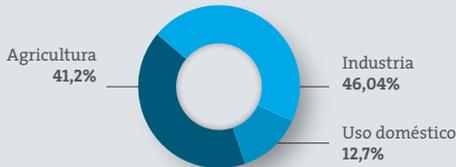
Fuente: CONAPHI - CHILE.

Figura 15: Canadá



Fuente: PNUMA.

Figura 16: Estados Unidos



Fuente: PNUMA.

2.1.4.- Presas y centrales hidroeléctricas

Otro uso importante del agua en Argentina es el uso no consuntivo para la generación de energía. Después de Asia, Sudamérica es el continente que le sigue en lo que respecta a recursos hidroeléctricos. Argentina es un país con un alto potencial en la materia ya que existen emprendimientos de gran envergadura como El Chocón, Yacyretá y Salto Grande, y numerosos embalses que, además de generar energía eléctrica, permiten prevenir inundaciones e incorporar nuevas áreas a la actividad agropecuaria mediante la irrigación.

Según el informe elaborado por la Academia Nacional de Ciencias, Argentina tiene un potencial hidroeléctrico estimado de 170 000 GWh/año, de los cuales 130 000 GWh/año corresponden a proyectos inventariados. Sin embargo, solamente 35 000 GWh/año corresponden a emprendimientos en operación o en construcción; aun así, la participación de la energía hidroeléctrica representa el alrededor del 35% de la energía total generada en el país.

En principio, la hidroelectricidad debería cubrir para el año 2030 el 40% del total de la energía generada en el país. Si consideramos que la demanda actual de energía está en el orden de los 115000 GWh/año y se toma una tasa de crecimiento del 4% anual hasta 2025, sería necesario duplicar la generación hidroeléctrica actual en los próximos 10 o 15 años para tener una oferta de energía hidroeléctrica equivalente al 40% de la matriz energética (2).

Las principales cuencas generadoras de energía hidroeléctrica son las correspondientes a los ríos Paraná, Uruguay, Limay y Neuquén. Las centrales hidroeléctricas de los ríos Limay proveen el equivalente al 25% del pico horario de la curva de carga del Mercado Eléctrico Mayorista. En la Tabla 7 se presenta un listado de las principales presas y centrales hidroeléctricas de Argentina.

Tabla 7: Principales presas y centrales hidroeléctricas de Argentina

Nombre	Generación media anual (GWh)	Puesta en operación	Capacidad del embalse (hm ³)	Usos predominantes	Río, cuenca y provincia
Presa General Manuel Belgrano Complejo hidroeléctrico Cabra Corral	220	1973	3130		Juramento. Río Juramento-Salado. Salta.
Presa Peñas Blancas Complejo hidroeléctrico Cabra Corral	n/a	1981	2,86	Compensador de Cabra Corral y riego	Juramento. Río Juramento-Salado. Salta.
Presa Gral. San Martín Complejo hidroeléctrico El Tunal	50	1985	310		Juramento. Río Juramento-Salado. Salta.
Presa Dr. Celestino Gelsi Complejo hidroeléctrico El Cadillal	48	1966	300		Salí. Río Salí-Dulce. Tucumán.
Presa Pueblo Viejo Complejo hidroeléctrico Pueblo Viejo	43	1968	--		Pueblo Viejo. Río Salí-Dulce. Tucumán.
Presa Derivador Los Reales Complejo hidroeléctrico Pueblo Viejo	n/a	1968	n/a	Derivador para central Pueblo Viejo.	Los Reales. Río Salí-Dulce. Tucumán.
Presa Derivador La Horqueta Complejo hidroeléctrico Pueblo Viejo	n/a	1968	n/a	Derivador para central Pueblo Viejo.	La Horqueta. Río Salí-Dulce. Provincia de Tucumán.
Presa Escaba Complejo hidroeléctrico Escaba	69	1948	142,5		Marapa. Río Salí-Dulce. Provincia de Tucumán.
Central Hidroeléctrica Escaba Complejo hidroeléctrico Escaba	69	1955	--		Marapa. Río Salí-Dulce. Tucumán.
Presa Batiruaná Complejo hidroeléctrico Escaba	n/a	1955	0,44	Compensador de Escaba y riego.	Marapa. Río Salí-Dulce. Provincia de Tucumán.

Continúa en la página siguiente

Nombre	Generación media anual (GWh)	Puesta en operación	Capacidad del embalse (hm ³)	Usos predominantes	Río, cuenca y provincia
Presa Río Hondo Complejo hidroeléctrico Río Hondo	99	1967	1740		Dulce. Salí-Dulce. Santiago del Estero.
Central Hidroeléctrica Los Quiroga	8,6	1963	--	Generación eléctrica	Dulce. Salí-Dulce. Santiago del Estero.
Presa Agua del Toro Complejo hidroeléctrico Agua del Toro. Sistema Río Diamante	252	1976	325	Riego y generación eléctrica	Diamante. Río Diamante. Mendoza.
Los Reyunos Complejo hidroeléctrico Los Reyunos. Sistema Río Diamante	302	1980	260	Riego y generación eléctrica	Diamante. Río Diamante. Mendoza.
Presa Arco de Protección de la Central Hidroeléctrica Los Reyunos. Complejo hidroeléctrico Los Reyunos. Sistema Río Diamante	n/a	1980	n/a	Protección de la sala de máquinas de los Reyunos del contraembalse producido por la Presa El Tigre	Diamante. Río Diamante. Mendoza.
Presa El Tigre Complejo hidroeléctrico El Tigre. Sistema Río Diamante	50	1983	7	Compensador, riego y energía eléctrica	Diamante. Río Diamante. Mendoza.
Presa El Nihuil Complejo hidroeléctrico Nihuil I. Sistema Los Nihuales	296	1947	259	Riego y generación eléctrica	Atuel. Río Atuel. Mendoza.
Presa Aisol Complejo hidroeléctrico Nihuil II. Sistema Los Nihuales	316	1968	0,71	Generación eléctrica	Atuel. Río Atuel. Mendoza.
Presa Tierras Blancas Complejo hidroeléctrico Nihuil III. Sistema Los Nihuales	130	1971	0,89	Generación eléctrica	Atuel. Río Atuel. Mendoza.
Presa Valle Grande Complejo hidroeléctrico Nihuil IV. Sistema Los Nihuales	87	1965	168	Riego, generación eléctrica, turismo y recreación	Atuel. Río Atuel. Mendoza.

Continúa en la página siguiente

Nombre	Generación media anual (GWh)	Puesta en operación	Capacidad del embalse (hm ³)	Usos predominantes	Río, cuenca y provincia
Presa Derivador Punta Negra Complejo hidroeléctrico Ullum	183	1969	---	Riego y generación eléctrica	San Juan. Río San Juan.
Presa Alicurá Complejo hidroeléctrico Alicurá	2360	1984	3215	Generación eléctrica	Limay. Río Negro. Neuquén y Río Negro.
Presa Piedra del Águila Complejo hidroeléctrico Piedra del Águila	5500	1993	12 400	Atenuación de crecidas y generación eléctrica	Limay. Río Negro. Neuquén y Río Negro.
Presa Pichi Picún Leufú Complejo hidroeléctrico Pichi Picún Leufú	1080	1999	197	Atenuación de crecidas y generación eléctrica	Limay. Río Negro. Neuquén y Río Negro.
Presa El Chocón Complejo hidroeléctrico El Chocón	3350	1972	20 600	Atenuación de crecidas, generación eléctrica, turismo y recreación.	Limay. Río Negro. Neuquén y Río Negro.
Presa Arroyito Complejo hidroeléctrico Arroyito	720	1983	361	Compensador de El chocón y generación eléctrica.	Limay. Río Negro. Neuquén y Río Negro.
Presa Portezuelo Grande Complejo hidroeléctrico Cerros Colorados	n/a	1972	9	Atenuación de crecidas por derivación.	Neuquén. Río Neuquén. Neuquén.
Presa Loma de la Lata Complejo hidroeléctrico Cerros Colorados	n/a	1974	28 164	Atenuación de crecidas y regulación para riego.	Neuquén. Río Neuquén. Neuquén
Presa Planicie Banderita Complejo hidroeléctrico Cerros Colorados	1 510	1977	28 162	Atenuación de crecidas, generación eléctrica, turismo y recreación.	Neuquén. Río Neuquén. Neuquén
Presa el Chañar Complejo hidroeléctrico Cerros Colorados	n/a	1979	34	Compensador complejo Planicie Banderita y riego.	Neuquén. Río Neuquén. Neuquén

Continúa en la página siguiente

Nombre	Generación media anual (GWh)	Puesta en operación	Capacidad del embalse (hm ³)	Usos predominantes	Río, cuenca y provincia
Presa Marí Menuco Complejo hidroeléctrico Cerros Colorados	n/a	1974	28 164 (cierres complementario a Loma de la Lata)	Atenuación de crecidas.	Neuquén. Río Neuquén. Neuquén.
Dique San Roque		1891 1944 se inauguró el 2do proyecto		Fuente de agua potable y generación de electricidad.	Cuencas Ríos Primero y Segundo.
Presa Florentino Ameghino Complejo hidroeléctrico Florentino Ameghino	178	1968	1855	Riego, atenuación de crecidas, generación eléctrica, turismo y recreación.	Chubut. Río Chubut. Chubut.
Presa Futaleufú Complejo hidroeléctrico Futaleufú	2560	1978	5700	Generación eléctrica	Futaleufú. Río Futaleufú. Chubut.
Presa Salto Grande Complejo hidroeléctrico binacional (Argentina-Uruguay)	7629	Cronograma de ejecución 1974-1982	5500	Generación eléctrica	Uruguay. Río Uruguay. Entre Ríos (Argentina) Departamento de Salto (Uruguay)
Presa de Yacretá Complejo hidroeléctrico binacional (Argentina-Paraguay)	16 657 (valor máximo del suministro anual) Año 2010	1994: primera turbina	1600 km ² de superficie	Generación eléctrica	Paraná. Río Paraná. Construida sobre los saltos de Yacretá-Apipé en el río Paraná, en Corrientes, Argentina, y el departamento de Misiones, Paraguay.

Fuente: Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP). Inventario de Presas y Centrales Hidroeléctricas de la República Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. 2010.

2.1.5.- Riego

En Argentina, dada la existencia de grandes superficies áridas y semiáridas, el riego ha permitido incorporar a las actividades agropecuarias suelos que de otra forma no serían productivos. A finales del siglo XIX, la construcción de diques y obras de derivación en la provincia de Mendoza y, posteriormente, en San Juan, Tucumán y el Alto Valle de Río Negro, permitió el inicio del desarrollo de importantes áreas bajo riego. En la década de 1950, la incorporación de equipos de bombeo permitió ampliar la superficie bajo riego y la eficiencia de este.

La superficie irrigada en el país es del orden de 1 350 000 hectáreas, lo que representa aproximadamente un 4% del total de la superficie cultivada.

Los datos del Censo Nacional Agropecuario del Año 2002 indicaron que los sistemas de aplicación del riego en uso son:

- ▶ **Por gravedad**, en el 70% de la superficie censada.
- ▶ **Por aspersión**, en el 21%.
- ▶ **Localizado**, en el 9%.

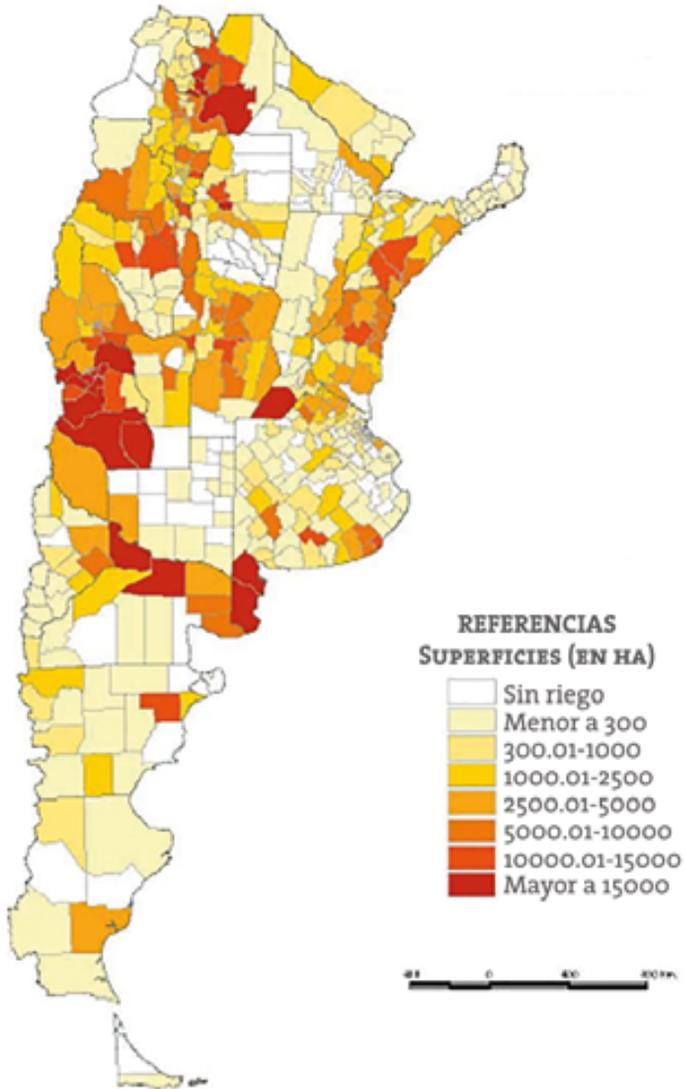
Tabla 8: Panorama regional de superficie regada, en hectáreas (2002)

NOA		NEA		Pampeana		Cuyo		Patagonia	
Catamarca	61 848	Corrientes	59 014	Buenos Aires	166 483	Mendoza	267889	Chubut	18 155
Jujuy	91 575	Chaco	7550	Córdoba	93 835	San Juan	79516	Neuquén	15 798
La Rioja	41 817	Formosa	4002	Entre Ríos	71 736	--	--	Río Negro	72 780
Salta	118 898	Misiones	170	La Pampa	4715	--	--	Santa Cruz	3841
S. del Estero	53 954	--	--	San Luis	18 575	--	--	T. del Fuego	0,4
Tucumán	66 025	--	--	Santa Fe	37 421	--	--	--	--
Total Regional	43 4117		70 736		392 765		347 405		110 574
%	32		5,20		29		25,6		8,2

Referencias: NOA: Noroeste argentino; NEA: Noreste argentino.

Fuente: Dirección de Agricultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

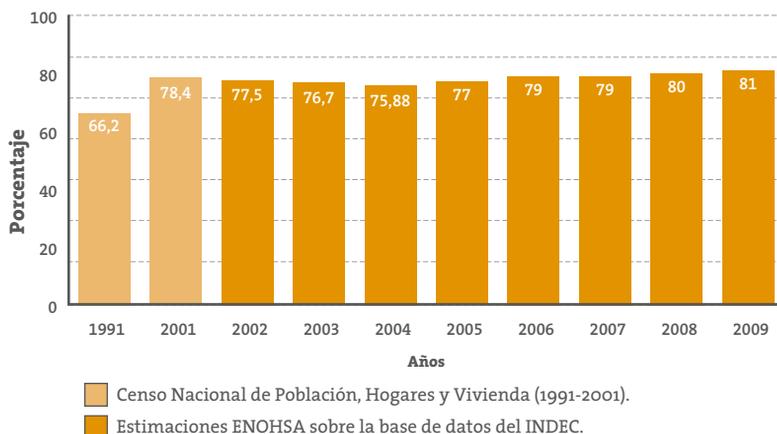
Figura 17: Departamentos de Argentina con riego y superficie regada



Fuente: Elaborado por la Dirección de Agricultura (SAGPyA) sobre la base de datos de C. H. A. 2002 (INDEC).

2.1.6.- Agua y saneamiento

Figura 18: Porcentaje de la población en hogares con acceso a agua segura de red pública



Nota: Se incluyen los hogares en los que la procedencia del agua (superficial, subterránea) para beber, para higiene personal y para cocinar es por red pública por cañería dentro de la vivienda, fuera de la vivienda pero dentro del terreno y fuera del terreno (a través de grifos públicos).

Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible de Argentina – Quinta Edición.

Figura 19: Porcentaje de la población en hogares con acceso a desagües cloacales



Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible de Argentina – Quinta Edición.

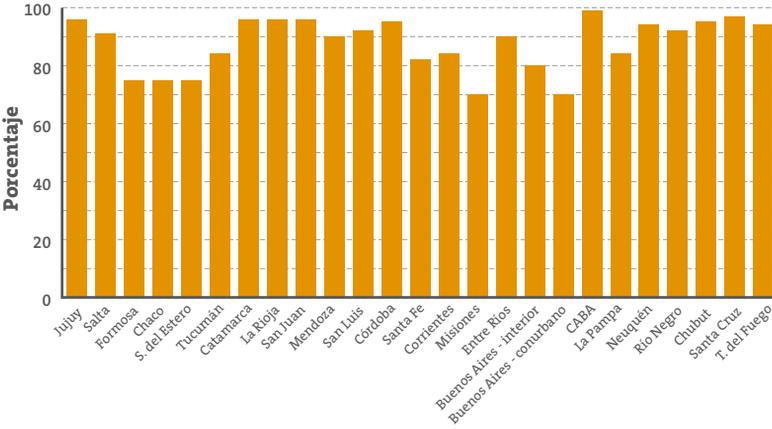
Tabla 9: Hogares argentinos. Provisión y procedencia del agua. Tipo de desagüe del inodoro

Provisión y procedencia del agua	Tipo del desagüe del inodoro					
	Total de hogares	A red pública (cloaca)	A cámara séptica y pozo ciego	A pozo ciego	A hoyo, excavación en la tierra	Hogares sin baño/letrina
Total	12 171 675	6 473 354	2 992 460	2 190 295	199 095	316 471
Por cañería dentro de la vivienda	10 777 695	6 348 887	2 703 970	1 576 352	45 806	102 680
Red pública	9 454 549	6 198 373	1 953 833	1 182 557	32 663	87 123
Perforación con bomba de motor	1 134 555	132 009	673 845	313 193	5090	10 418
Perforación con bomba manual	23 307	1440	9318	11 462	515	572
Pozo	109 811	8783	39 820	53 714	4819	2675
Transporte por cisterna	28 407	6731	12 937	7020	853	866
Agua de lluvia, río, canal, arroyo o acequia	27 066	1551	14 217	8406	1866	1026
Fuera de la vivienda, pero dentro del terreno	1 125 797	124 391	254 200	502 706	102 302	142 198
Red pública	669 190	114 578	135 218	283 040	45 300	91 054
Perforación con bomba a motor	245 166	7 137	87 183	120 578	8971	21 297
Perforación con bomba manual	49 188	720	8949	29 085	5372	5062
Pozo	94 594	1 138	11 682	42 050	26 485	13 239
Transporte por cisterna	29 397	579	5396	12 922	5817	4 683
Agua de lluvia, río, canal, arroyo o acequia	38 262	239	5772	15 031	10 357	6863
Fuera del terreno	268 183	76	34 290	111 237	50 987	71 593
Red pública	91 847	37	13 972	39 650	12 827	25 361
Perforación con bomba a motor	38 238	0	8615	19 550	3071	7002
Perforación con bomba manual	13 170	0	1546	6 537	2137	2950
Pozo	50 658	1	3356	19 337	14 541	13 423
Transporte por cisterna	33 174	29	4389	14 213	5952	8591
Agua de lluvia, río, canal, arroyo, o acequia	41 096	9	2412	11 950	12 459	14 266

Nota: Las islas Malvinas, Georgias del Sur, Sandwich del Sur y los espacios marítimos circundantes forman parte integrante del territorio nacional argentino. Debido a que dichos territorios se encuentran sometidos a la ocupación ilegal del REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA e IRLANDA DEL NORTE, la REPUBLICA ARGENTINA se vio impedida de llevar a cabo el censo 2010 en esa área.

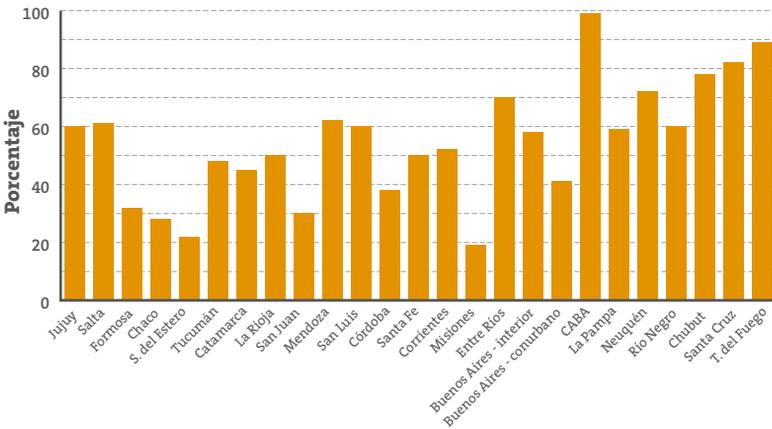
Fuente: INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

Figura 20: Porcentaje de hogares con servicio público de agua potable



Fuente: INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

Figura 21: Porcentaje de hogares vinculados a la red cloacal pública



Fuente: INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

2.1.7.- Vacíos críticos de información

El conocimiento hidrológico de los principales ríos del país fue avanzando a través de los años gracias al esfuerzo de organismos que fueron pioneros en la organización de sistemas para la toma de datos. Desde principios de 1900, la entonces Dirección General de Irrigación de la Nación comenzó a medir alturas hidrométricas y caudales en numerosos cursos de agua superficial del país. Posteriormente, Centrales Eléctricas del Estado realizó una actividad similar, pero en cursos de interés para potenciales aprovechamientos hidroeléctricos. A partir de 1947, con la creación de Agua y Energía Eléctrica se fusionaron ambos organismos y se intensificaron las mediciones, se sistematizó la información y se agregaron nuevas estaciones de medición. Con su disolución a mediados de los 90 esta red hidrológica pasó a depender de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

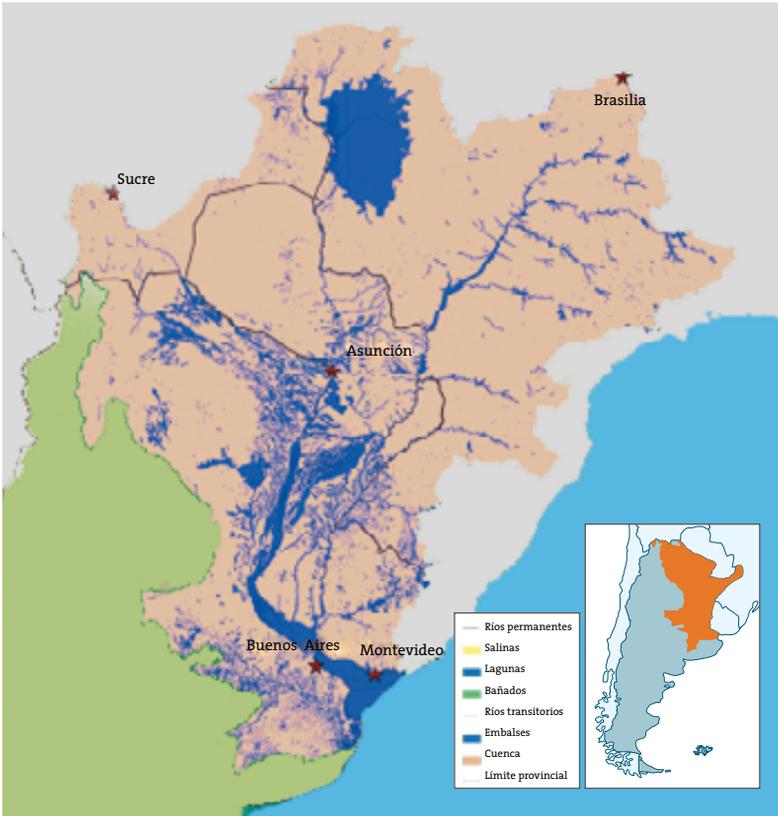
La información sobre los caudales de los principales ríos de Argentina está actualizada y se encuentra disponible. Sin embargo, al momento de evaluar el consumo de agua por uso consuntivo, el panorama es diferente. Solo se identificaron dos publicaciones que hacen referencia cuantitativa sobre el consumo de agua por uso consuntivo a nivel país y por provincia: una del año 1976 (3) y otra del año 2000 (4). La primera describe la metodología utilizada para estimar las cantidades de agua consumida por uso consuntivo mientras que en la segunda, si bien es la única que presenta información más o menos actualizada, no se encontró una descripción específica acerca de la metodología utilizada. Cabe destacar algunos pocos casos, como Chubut y Mendoza, en los que existe mayor información acerca de la cantidad de agua involucrada en usos consuntivos.

En relación con el consumo de agua subterránea no puede dejar de mencionarse la existencia de una gran cantidad de pozos extractivos para uso industrial y riego no declarados, por lo que no se dispone de información certera acerca de los volúmenes de agua extraídos.

El principal vacío crítico se identifica en la falta de conformación de grupos de trabajo a nivel nacional y provincial con el objetivo de estimar (mediante una metodología consensuada entre actores clave) o de integrar el consumo cuantitativo de agua superficial y subterránea por uso consuntivo. Dicha estimación necesariamente conlleva la recopilación y análisis de información relacionada, por ejemplo, con superficies cultivadas y tipo de cultivo, tipo de industrias consideradas y actividades extractivas.

2.2.- Fichas resumen: principales cuencas hidrográficas de Argentina

2.2.1.- Cuenca del Plata



Extensión: Argentina, Brasil, Bolivia, Uruguay y Paraguay.

Superficie aproximada: 3 100 000 km².

La Cuenca del Plata representa casi el 20% de la superficie total de América del Sur. Es la cuenca hídrica más grande después de la del río Amazonas: abarca el centro y norte de Argentina, el sur del Brasil, el sur y el este de Bolivia, casi todo el Uruguay y la totalidad del territorio de Paraguay. Los grandes ríos de la Cuenca del Plata son el Paraná, el Paraguay, el Uruguay y el Río de la Plata, destacándose también, entre otros, los ríos Bermejo y Pilcomayo.

La mayor parte del área de drenaje de la Cuenca del Plata se encuentra en Brasil, donde alcanza 1 415 000 km². Luego le siguen Argentina con 918 000 km², Paraguay con 410 000 km², Bolivia con 205 000 km² y Uruguay con 150 000 km². La confluencia de la desembocadura de los ríos Paraná y Uruguay da origen al Río de la Plata.

Con su extensa cobertura geográfica, la cuenca del Río de la Plata es topográficamente muy variable. Tiene desde altas montañas de más de 4000 metros de altura al noroeste de Argentina y sur de Bolivia, hasta planicies a nivel del mar en el sur de Argentina y Uruguay. Los niveles de lluvia también son muy variables, de menos de 700 mm por año en las montañas al oeste de Bolivia hasta más de 1800 mm por año a lo largo de la costa este de Brasil.

En términos de potencial de agua dulce, el río Paraná es el más importante de la cuenca del Río de la Plata con un caudal promedio anual de cerca de 17 100 m³/s en Corrientes. El río Uruguay tiene un caudal promedio anual de más o menos 4300 m³/s, mientras que el río Paraguay tiene la capacidad más baja, con un caudal promedio anual de unos 3800 m³/s en Puerto Pilcomayo.

En su parte argentina, la Cuenca del Plata abarca parte de las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Córdoba, Santiago del Estero, Santa Fe y Buenos Aires y la totalidad de la superficie correspondiente a las provincias de Misiones, Corrientes, Chaco, Formosa y Entre Ríos.

Existen importantes recursos hídricos subterráneos en la Cuenca del Plata. El Sistema Acuífero Guaraní (SAG), por ejemplo, es una de las reservas de agua dulce subterránea más importantes del mundo, tanto en extensión como en volumen. El SAG comprende regiones de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, abarcando una extensa región de aproximadamente 1,2 millones de km², con casi 15 millones de habitantes. Se estima que la capacidad del SAG es de unos 40 000 km³.

Aspectos socioeconómicos

En Argentina, los centros industriales más importantes se encuentran a lo largo de la franja industrial del río Paraná y en la zona metropolitana de Buenos Aires, a la vera del Río de la

Plata. Los principales polos industriales y puertos del país se encuentran en esta zona, donde se producen alrededor del 90% de los cereales y oleaginosas. Estas provincias generan la mayor parte del PBI de Argentina y concentran, a su vez, a la mayor parte de la población del país.

En la Cuenca del Plata se encuentran también varios de los emprendimientos hidroeléctricos más importantes de Argentina, como Yacyretá, ubicada en el río Paraná (emprendimiento binacional con Brasil) y Salto Grande en Concordia, Entre Ríos (emprendimiento binacional con Uruguay).

Las vías de la Cuenca del Río de la Plata son navegables desde principios del siglo XVI. Los ríos Paraguay y Paraná son corredores naturales de transporte que se extienden en dirección Norte-Sur, conectando el corazón de Sudamérica con el océano Atlántico.

La Hidrovía, según se planificó, recorre más de 3000 km desde Puerto Cáceres (Brasil) en el Norte, hasta Nueva Palmira (Uruguay) en el Sur, a lo largo de los ríos Paraguay y Paraná. El objetivo del proyecto es ampliar las capacidades de navegación de los cinco países, fomentar el desarrollo de la región al reducir los costes de transporte de mercancías y mejorar las conexiones con los centros comerciales, garantizando, al mismo tiempo, una salida al mar para Bolivia y Paraguay, países sin litoral marítimo. Sin embargo, la construcción y funcionamiento del proyecto pueden tener una serie de graves y complejos impactos sobre el medio ambiente de la región, en particular en el Pantanal. Este enorme y rico ecosistema, que hasta el momento ha permanecido relativamente virgen, puede verse gravemente dañado por la modificación del régimen del caudal, cuyas repercusiones no solo se limitarían a un descenso de la biodiversidad, sino que también originarían un cambio significativo en los niveles de agua en la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay.

Las mayores ciudades de la Cuenca del Plata se encuentran a la vera de sus humedales, que brindan una gran cantidad de servicios ambientales, por ejemplo, como fuente de agua potable, agua para riego, hábitat de flora y fauna, además de servir como reguladores de inundaciones y sumidero de carbono actuando, por lo tanto, como mitigadores de los efectos del cambio climático.

Tabla 10: Características de las sub-cuencas de la Cuenca del Plata

Sub-cuenca	Superficie cuenca (km ²)	Características
	Longitud del río (km)	
	Caudal medio (m ³ /s)	
Río Bermejo	123 162 km ² 111 266 km ² en Argentina	<p>Se ubica en el extremo sur del Bolivia y el norte de Argentina. Sus nacientes se ubican entre los 3600 y 5000 msnm y es un afluente del río Paraguay. Vincula dos ámbitos geográficos importantes del sur de Sudamérica: la Cordillera de los Andes y el sistema de los ríos Paraguay-Paraná, atravesando completamente la enorme extensión de la llanura chaqueña. Así, actúa como un corredor que permite la conexión de elementos bióticos de las montañas andinas y la llanura chaqueña.</p> <p>Su régimen hidrológico y sus afluentes son pluviales, con un período de importantes caudales en la época lluviosa (75% del escurrimiento anual) y otro de caudales mínimos en época seca. Se han registrado mínimos de 20 m³/s y máximos de 12 000 m³/s.</p> <p>Se verifican en la cuenca alta intensos procesos de erosión que determinan una altísima carga de sedimentos en el río, que son transportados por los ríos de la Alta Cuenca: 1200 ton/km²/año el río Grande de Tarija, 1700 ton/km²/año el río Bermejo Superior, 12500 ton/km²/año el río Iruya y 700 tn/km²/año el río San Francisco, aproximadamente.</p>
	1300 km	
	426 m ³ /s (Estación El Colorado)	
Río Pilcomayo	272 000 km ² 68 000 km ² (en Argentina)	<p>Nace en Bolivia a los 5500 m de altura y, luego de recorrer unos 500 km, abandona la región montañosa en la ciudad de Villa Montes (420 msnm) y entra en la planicie del Chaco, en dirección sureste en sentido del flujo, extendiéndose unos 1000 km hasta el río Paraguay (de los cuales 835 km son frontera entre Argentina y Paraguay). En este tramo se convierte en un río de llanura.</p> <p>Es considerado uno de los ríos con mayor cantidad de transporte de sedimentos en el mundo, con una tasa media anual de 125 millones de toneladas. Es el único del mundo que presenta el fenómeno de extinción del cauce por atarquinamiento. Al entrar en la zona llana, el gran volumen de sedimentos que transporta el río taponan su cauce y las aguas se derraman sobre el área circundante formando grandes bañados y desapareciendo su cauce (cauce superior). Aguas abajo, el antiguo cauce o cauce "inferior" drena la cuenca baja y desemboca en el río Paraguay, y parece estar desconectado hidrológicamente del cauce "superior".</p>
	2426 km	
	203,9 m ³ /s (Estación Misión La Paz)	

Continúa en la página siguiente

Sub-cuenca	Superficie cuenca (km ²)	Características
	Longitud del río (km)	
	Caudal medio (m ³ /s)	
Río Paraguay	1 095 000 km ² 180 000 km ² (en Argentina)	<p>Tiene sus nacientes en Brasil, a unos 300 msnmm. Luego de recorrer 300 km forman El Pantanal, zona de expansión y de embalse natural, considerado el mayor humedal del planeta, un enorme y rico ecosistema que ocupa aproximadamente 140 000 km² sobre los territorios de Brasil, Bolivia y Paraguay. Desemboca en el río Paraná a los 48 msnm. Su ancho es variable, de 300 a 400 m al norte del río Apa, 700 m en Asunción y llegando en algunos lugares a 1500 m. En época de inundaciones sus aguas se desbordan sobre ambas márgenes inundando 10 a 15 km desde el cauce principal. El Pantanal acumula el agua de lluvia y actúa como regulador del flujo, disminuyendo la velocidad de propagación de las crecidas y pronunciando la duración de los estiajes. Es navegable en gran parte de su recorrido, desde su confluencia con el Paraná hasta 2300 km más al Norte, pero solo hasta Asunción por barcos de gran calado.</p>
	2625 km	
	3593 m ³ /s (Estación Puerto Pilcomayo)	
Río Paraná	1 510 000 km ²	<p>Nace en Brasil, a unos 1148 msnm. Su tramo argentino comienza en la desembocadura del río Iguazú, desde donde recorre 1710 km hasta su desembocadura, en el Río de la Plata. En su cuenca alta tiene una red de desagüe bien desarrollada y un caudal medio de aproximadamente 12 000 m³/seg; en su cuenca media, en territorio argentino, la pendiente es baja (4 cm/km) y su ancho es variable entre 4200 m y 2000 m. En este sector el ancho del área inundable varía, de norte a sur, entre 13 km y 56 km.</p>
	8780 Km	
	17 846 m ³ /s (Estación El Chapetón)	
Río Paraná	1 510 000 km ²	<p>En la cuenca inferior se encuentra el Delta del Paraná, que inicia con un ancho de 18 km y alcanza los 60 km. Transporte de sedimentos: el río Bermejo aporta alrededor de 100 E+06 toneladas anuales de sedimentos en suspensión al sistema Paraguay-Paraná, aportando el 90% de los limos y arcillas transportados por el río Paraná. A aproximadamente 320 km antes de su desembocadura en el Río de la Plata, el Paraná comienza a formar un delta que ocupa una superficie de 14 100 km²; con un ancho variable entre 18 km y 61 km de ancho. El Delta del Paraná tiene una tasa de avance lineal hacia el Río de la Plata entre 0 y 25 m/año en la zona del Paraná Guazú y entre 50 y 100 m/año en la zona del Paraná de las Palmas.</p>
	8 780 km	
	17 846 m ³ /s (Estación El Chapetón)	

Continúa en la página siguiente

Sub-cuenca	Superficie cuenca (km ²)	Características
	Longitud del río (km)	
	Caudal medio (m ³ /s)	
Río Uruguay	339 000 km ²	<p>Es un curso de agua internacional y su cuenca hidrográfica forma parte de los territorios de Argentina, Brasil y Uruguay. Por su caudal es el segundo sistema fluvial más importante de la Cuenca del Plata. Tiene sus orígenes en la Sierra do Mar (Brasil). Su curso transcurre aproximadamente un 32% por territorio brasileiro, un 38% forma límite entre Argentina y Brasil y un 30% forma límite entre Argentina y Uruguay.</p> <p>Su régimen es pluvial y muy irregular, consecuencia de la irregularidad de las lluvias que se descargan sobre su cuenca. Los caudales se mantienen con valores altos entre mayo y noviembre, con promedios del orden de los 7000 m³/s. Durante el verano se produce el estiaje, alcanzando caudales inferiores a los 2000 m³/s. El caudal medio es del orden de los 4500 m³/s.</p> <p>El máximo caudal conocido hasta la fecha se produjo en el mes de abril de 1959, con 36 000 m³/s, medido en el puerto de Concordia.</p>
	1 800 km	
	4 269 m ³ /s (Estación Paso de los Libres)	
Río Salado en la provincia de Buenos Aires	147 527 km ²	<p>Más del 95% corresponde a la provincia de Buenos Aires y el resto a la provincia de Santa Fe. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias, esta cuenca también puede recibir aportes de agua provenientes de las provincias de Córdoba (Río Quinto) y La Pampa. En conjunto con sus extensiones artificiales (por las canalizaciones que la vinculan a otras áreas) abarca una superficie aproximada de 150 000 km². En la provincia de Buenos Aires pueden identificarse las siguientes tres regiones principales: la Región Noroeste, una región arreica que se ha conectado artificialmente con el río Salado mediante un sistema de canales; el Salado-Vallimanca, y las Lagunas Encadenadas del oeste, conectadas artificialmente con el arroyo Vallimanca.</p> <p>Esta región se caracteriza por ser una planicie ubicada a menos de 100 msnm donde raramente se encuentran elevaciones de más de 20 m, predominando las dunas en la zona centro oeste.</p>
	600 km	
	390 m ³ /s (Estación RN n° 2)	
Río de la Plata	130 000 km ²	<p>Se origina a partir de la confluencia de los ríos Paraná y el Uruguay.</p> <p>Su ancho es de 1,7 km en la cabecera, hasta 227 km de ancho en su boca entre Punta Rasa (Cabo San Antonio en Argentina) y Punta del este (Uruguay).</p>
	327 km	
	23 000 m ³ /s	

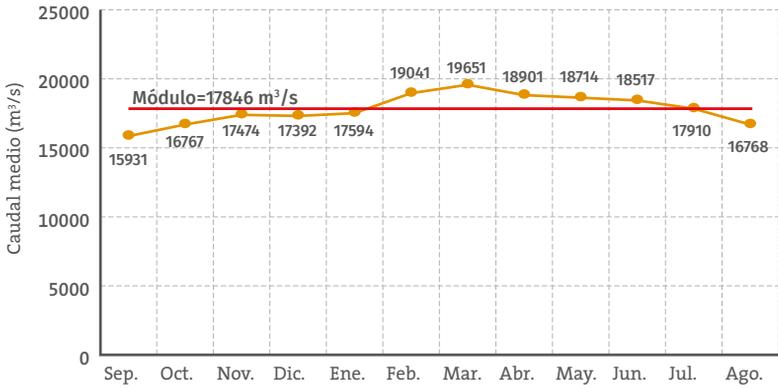
Ecorregiones y climas

En la parte argentina, la Cuenca del Plata abarca climas subtropicales y templados. La precipitación anual se encuentra entre los 2000 y 1200 mm en la Mesopotamia (Provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos), 800 mm en la zona de La Pampa, entre 500 y 1000 mm en la zona de Chaco y más de 1.000 mm en la zona de las Yungas.

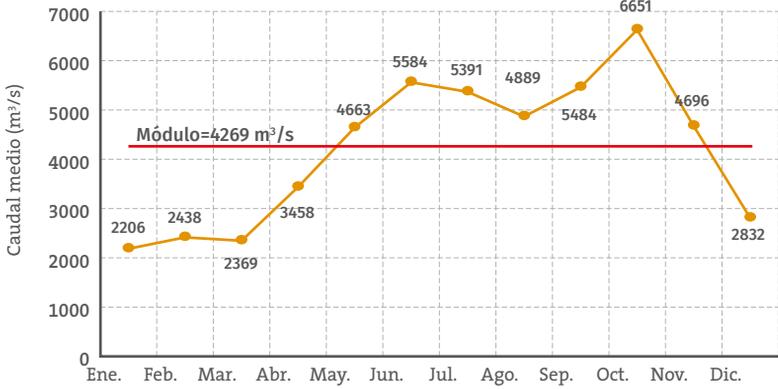
A su vez, se caracteriza por albergar los siguientes grandes ecosistemas:

- ▶ **Selvas de montaña o yungas**, en las laderas orientales de las sierras subandinas (Ej.: en la cuenca del río Bermejo).
- ▶ **Gran Chaco**: superficie aproximada de 1 000 000 km², de los cuales alrededor del 50% corresponden a Argentina. Se subdivide en Chaco Seco: gran planicie con escasas precipitaciones (500- 700 mm anuales) y Chaco Húmedo: continuación del Chaco hacia el valle de los ríos Paraguay y Paraná (precipitaciones de entre 1100-1300 mm anuales).
- ▶ **Selva Paranaense**: selva subtropical en galería, precipitaciones de entre 1600 y 2000 mm por año; suelos arcillosos ricos en hierro.
- ▶ **Esteros del Iberá**: abarcan una superficie aproximada de entre 7800 y 13 000 km² de la provincia de Corrientes, lo que lo convierte en uno de los sistemas de humedales más grandes del mundo. Corresponden a una sección del antiguo cauce del río Paraná y su agua proviene principalmente de las precipitaciones (1200 mm anuales).
- ▶ **Praderas**: se destaca La Pampa, llanura de pastizales con escasas elevaciones, que abarca una superficie de 600 000 km² y tiene un clima templado húmedo con precipitaciones anuales de entre 600 y 1000 mm.
- ▶ **Delta del Paraná**: se inicia 320 km antes de la desembocadura del Paraná en el Río de la Plata, abarca una superficie de 14 100 km² y tiene entre 18 y 61 km de ancho. Presenta una selva en galería y muchas de las especies de flora y fauna provienen de la Selva Paranaense.

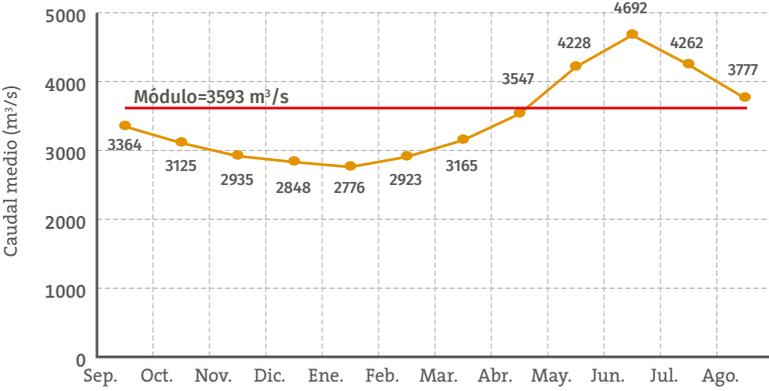
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1975-2008)
Río Paraná en El Chapetón



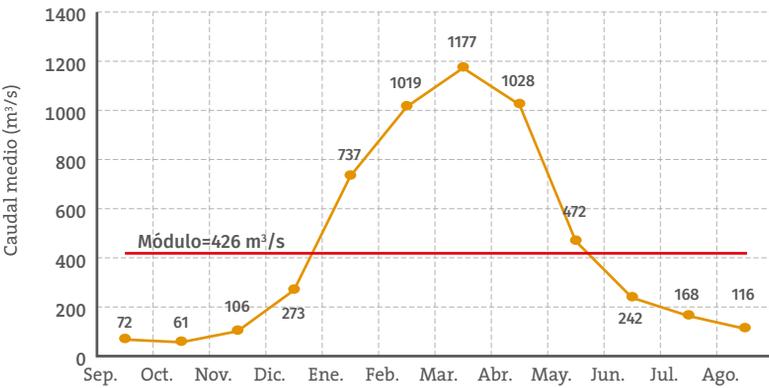
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1909-2008)
Río Uruguay en Paso de los Libres



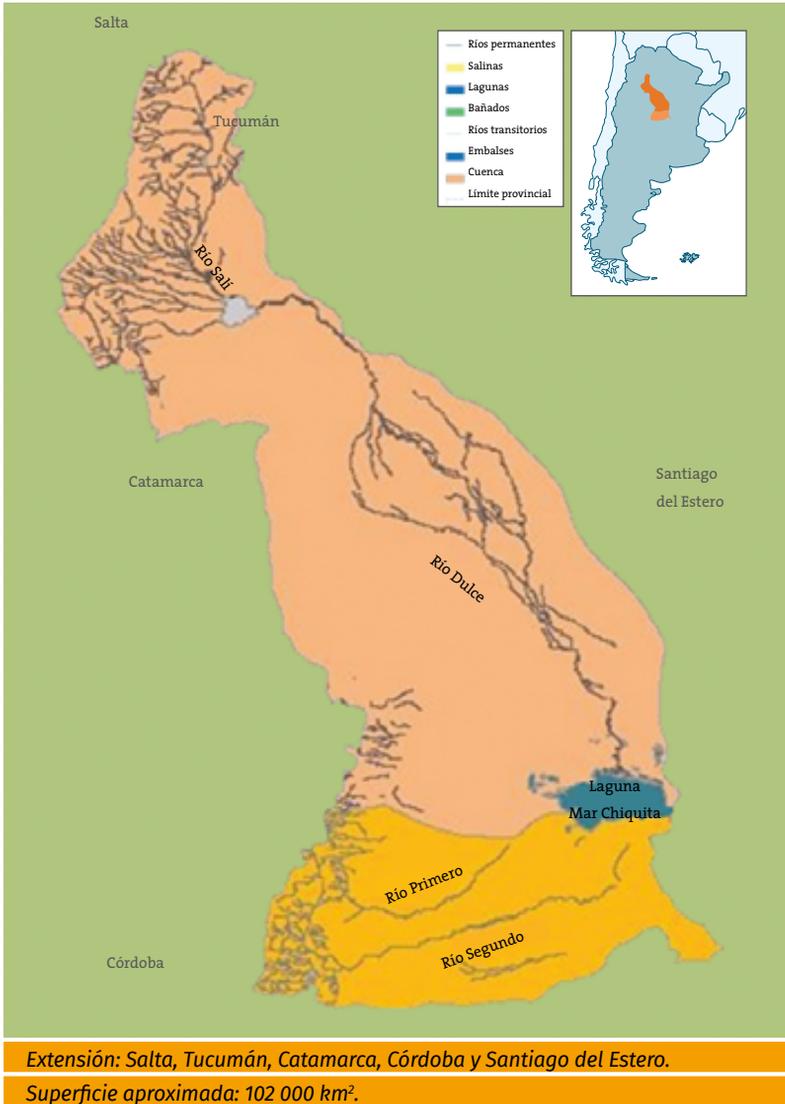
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1909-2009)
Río Paraguay en Puerto Pilcomayo



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1960-2009)
Río Bermejo en El Colorado



2.2.2.- Sistema de la Laguna Mar Chiquita



La Laguna Mar Chiquita es un cuerpo de agua salada que colecta el drenaje de la mayor cuenca endorreica del país. Recibe las aguas de los ríos Salí-Dulce, por el norte, y Suquía y Xanaes, por el sur.

Los niveles del cuerpo de agua y, por ende, de la superficie que ocupa han variado en el tiempo siguiendo las modificaciones en las precipitaciones en su cuenca de aporte. La laguna se secó en el período 1944-1955 y en 1968-1971. En 1983, luego de incrementar notablemente su nivel a partir de 1977, la superficie cubierta era de aproximadamente 5000 km². En 1997 tenía un largo de 76 a 80 km y un ancho de 40 a 45 km; en esa época se registraba un nivel de 68,3 msnm (el nivel mínimo de fondo es de aproximadamente 61 msnm).

El flujo de agua que ingresa a la laguna contiene sales que se van acumulando gradualmente en el cuerpo de agua. El contenido salino y el nivel del agua –y por ende, su volumen– están directamente relacionados, y sus variaciones tienen consecuencias observables sobre el estado físico, químico y biológico de la laguna. Las mediciones de salinidad realizadas en los primeros 75 años del siglo XX indican que predominaron los niveles bajos de la laguna, con un incremento significativo durante el período 1959-1961. Considerando largos períodos, la salinidad de la laguna ha oscilado entre valores muy altos cuando la laguna estaba muy baja (360 g por litro en 1915) a valores mínimos de alrededor de 25 gramos por litro en los momentos de máximo nivel (2003).

Ecorregiones y clima

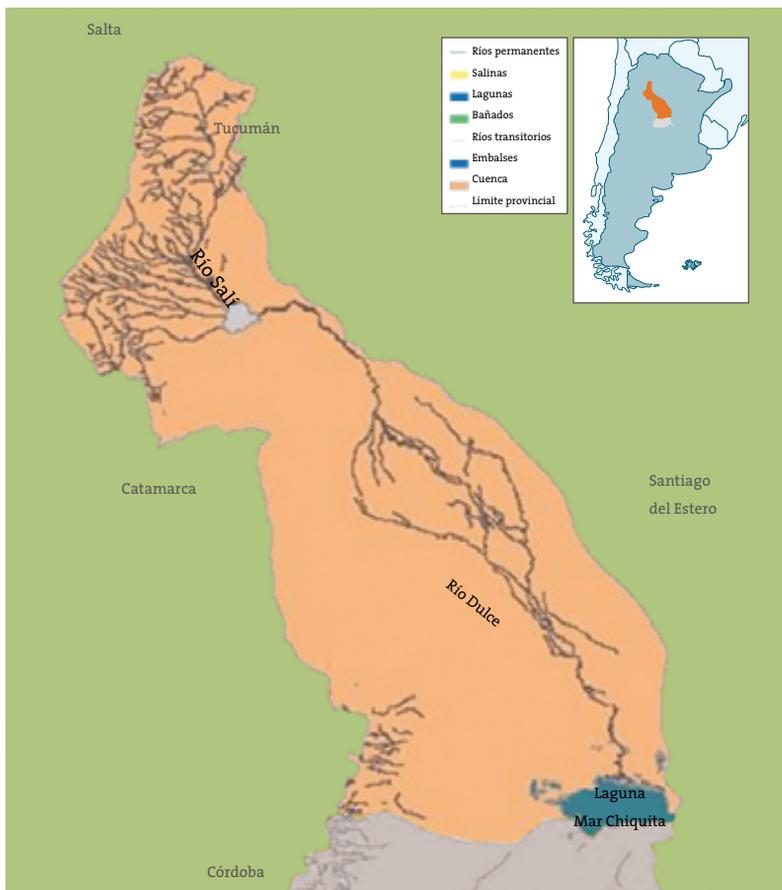
Clima subtropical semiárido. Temperatura media entre los 7° en invierno y 24° en verano. Precipitación acumulada anual de entre 500 mm y 1000 mm; las lluvias se producen entre octubre y marzo.

Ecorregiones: pastizales y bosques serranos; sierras de pendiente suave al este y abrupta al oeste; espinales y algarrobales pampeanos, corresponde a la llanura de transición entre las llanuras subtropicales del Chaco y las templadas de La Pampa.

Humedales

Los bañados del río Dulce y la Laguna de Mar Chiquita han sido declarados Sitio RAMSAR en la porción correspondiente a la provincia de Córdoba. Este humedal se caracteriza por la presencia de numerosas especies de aves, entre ellos, flamencos y chorlos. El Falaropo tricolor, una especie perteneciente a los chorlos, utiliza este humedal como zona de parada invernal y alimentación, y se reproduce en el hemisferio norte (Canadá-Estados Unidos). Se han contabilizado hasta medio millón de ejemplares de esta especie en el área de Mar Chiquita.

2.2.2.1.- Río Salí-Dulce



Extensión: Salta, Tucumán, Catamarca, Córdoba y Santiago del Estero.

Superficie aproximada: 72 000 km².

Longitud aproximada del río: 812 km.

En la Cuenca del Río Salí-Dulce, que forma parte del Sistema Laguna Mar Chiquita, se identifican dos sectores claramente diferenciados por sus características geomorfológicas:

- ▶ **Subcuenca superior o de alimentación conformada por el río Salí y sus afluentes**
Desagua la mayor parte del territorio de la provincia de Tucumán, y además recibe afluentes de las provincias de Salta y de Catamarca. El río Salí recibe principalmente por

su margen derecha el aporte de sus tributarios, que recogen los altos excedentes hídricos que se generan en los meses cálidos. Estos afluentes tienen una orientación general oeste-este, poseen cortos recorridos e importantes pendientes y constituyen, junto con el curso principal, la zona activa de aportes hídricos, la subcuenca de alimentación, que cubre casi toda la provincia de Tucumán y parte de las provincias de Salta y de Catamarca.

La conjunción de altas pendientes en los afluentes y del régimen de precipitaciones de la zona (torrencial) determina la producción de crecidas con altos picos de caudal y corta duración.

► **Subcuenca inferior o de llanura Río Dulce**

Al ingresar en la provincia de Santiago del Estero, el río Salí toma el nombre de río Dulce, que en una longitud de 600 km recorre una planicie de escasa pendiente con una dirección Noroeste-Sudeste, no recibe afluentes y desagua en la laguna Mar Chiquita a 62 msnm. La baja pendiente posibilitó que crecientes del río hayan desviado su curso y que se hayan producido bifurcaciones del cauce.

Al aproximarse a su desembocadura, los desbordes del río alimentan una amplia área de bañados denominada Bañados del Río Dulce, reconocida por su rica biodiversidad.

Río Salí

En la cuenca del río Salí se encuentra instalado el mayor conglomerado de la industria azucarera del país. En 2009 la producción de azúcar fue de 1 354 170 toneladas, lo que corresponde al 63,8% de la producción nacional. La superficie de caña de azúcar sembrada se encuentra en el orden de las 165 000 ha. Existen importantes instalaciones para la producción de alcohol a partir de la mezcla de caña de azúcar. La producción de once ingenios azucareros que poseen destilerías aporta alrededor del 75% de los 170 millones de litros de alcohol que produce anualmente Argentina. Existen otras actividades manufactureras que tienen una fuerte participación en la generación de valor en la cuenca: automotriz, textil y calzado, golosinas, gaseosas y papel.

En años recientes se ha producido un importante desarrollo de las plantaciones e industrialización de cítricos y arándanos. En el caso del limón, se trata de complejos agroindustriales integrales, en los

que se produce desde fruta en fresco clasificada y empacada hasta productos industriales como jugos concentrados o aceites esenciales. Argentina es el primer productor y procesador mundial de limón. El 90% de la producción nacional tiene como origen establecimientos ubicados en la cuenca del río Salí-Dulce, con una producción en 2004 de 1,2 millones de toneladas y alrededor de 35.000 ha cultivadas.

El incremento del área destinada a los cultivos de arándanos y limón, que ocupó zonas anteriormente cubiertas por el bosque nativo, ha provocado una mayor erosión de los suelos y con ello un aumento de la cantidad de sedimentos que transportan los ríos y que se depositan en los embalses. Además, el bosque nativo en las partes altas de la cuenca, que es fundamental para la alimentación de los acuíferos y la regulación de crecidas, está afectado por la apertura de campos para la explotación ganadera.

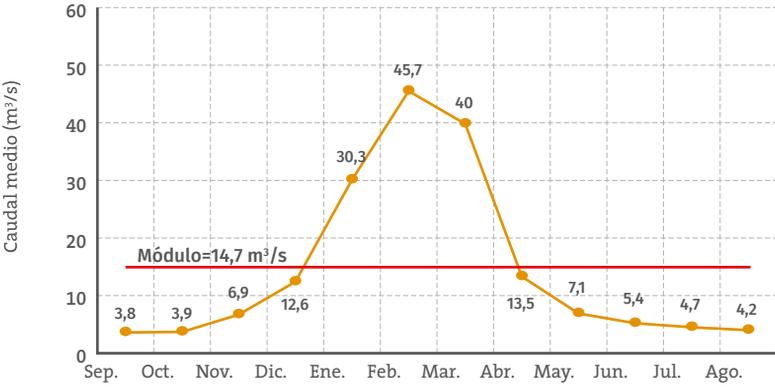
Río Dulce

La construcción en 1963 del dique derivador Los Quiroga y en 1967 del Embalse de Río Hondo permitió el desarrollo de la agricultura en aproximadamente 198 000 hectáreas de la árida zona que recorre el río Dulce, en donde se producen algodón, maíz y hortalizas. En el área de los Bañados del Río Dulce, el uso predominante de la tierra es la ganadería de cría extensiva.

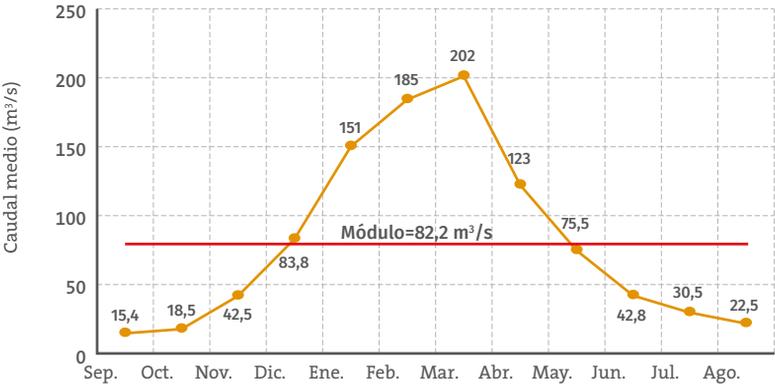
Ecorregiones y clima

El río Dulce se encuentra dentro de la región subtropical del Noroeste. El clima es semiárido, con un invierno seco y templado y un verano cálido, 500 mm anuales de precipitación que se producen en el período octubre-marzo. La temperatura media anual se encuentra entre los 18 y 22 °C. Las precipitaciones varían entre los 650-500 mm en la región este. El río Salí se encuentra en la denominada cuña húmeda, donde las precipitaciones se incrementan de este a oeste. En la ladera este del Aconquija (parte alta de la cuenca del río Salí) las precipitaciones alcanzan los 1000 mm anuales. Las altas precipitaciones brindan las condiciones de humedad apropiadas para la existencia de la selva húmeda o yungas. Se distinguen las siguientes ecorregiones: Selva de Yungas en la cuenca alta, seguida de chaco húmedo y campo y malezas.

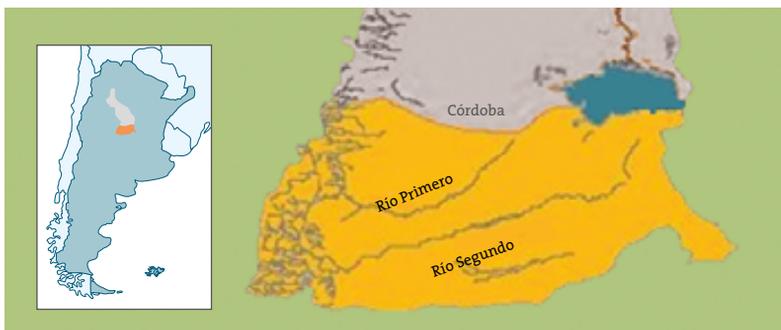
Histograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1945-1962)
Río Salí en El Cadillal



Histograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1925-1968)
Río Dulce en El Sauce



2.2.2.2.- Ríos Primero y Segundo



Extensión: Córdoba.

Superficie aproximada: 30 349,63 km².

Longitud aproximada: Río Suquía: 200 km; Río Xanaes: 340 km.

Los ríos Suquía (o Primero) y Xanaes (o Segundo) nacen en las sierras de Córdoba, sistema montañoso cuya altura máxima alcanza los 2789 msnm, donde se forman con el aporte de numerosos tributarios. Al ingresar en el terreno llano, donde se encuentra la mayor parte de su recorrido, no reciben afluentes.

El régimen es irregular. Presenta caudales máximos en verano, época en que pueden producirse eventos torrenciales, y valores de escurrimiento muy reducidos en la época de sequía. La necesidad de regular el régimen impulsó la construcción de diques para la provisión de agua para consumo humano, la generación de energía y el riego. Por otra parte, los embalses facilitaron el desarrollo de una importante actividad turística.

Aspectos socioeconómicos

Al este de la cuenca se desarrolla el área de alimentación, en una zona de serranías en la que el clima y el paisaje han favorecido el desarrollo del turismo, una actividad económica que ha tenido fuerte gravitación en la economía de la provincia de Córdoba y una importante participación en el sector turístico argentino. Los valles de Punilla y de Calamuchita concentran la mayor afluencia turística (42% y 15%, respectivamente). Algunos de los centros turísticos se desarrollaron en torno a los lagos generados por las represas construidas en los afluentes de los ríos Primero y Segundo con propósitos de generación de energía y provisión de agua potable. La ciudad

de Villa Carlos Paz, ubicada a la vera del lago San Roque, formado por un dique en las nacientes del río Primero, es la población turística más importante de la región.

Al pie de las sierras de Córdoba se encuentra la ciudad de Córdoba, cuya traza urbana es atravesada por el río Primero. Esta ciudad, que cuenta con una población de 1 329 604 habitantes (según el censo nacional de 2010), es la capital de la provincia y centro político, administrativo, cultural, comercial e industrial.

En la actividad industrial de la ciudad de Córdoba y alrededores se destacan el sector automotriz y de alimentación. El primero está compuesto por empresas terminales y productoras de autopartes. Casi las tres cuartas partes de alrededor de 250 empresas automotrices y autopartistas están radicadas en la ciudad capital. Hacia el este, en la zona de llanura que recorren los ríos Primero y Segundo, se desarrolla una intensa actividad agrícola-ganadera. La soja es uno de los cultivos principales y también se destaca la producción lechera.

La producción de la cuenca correspondiente a los ríos Primero y Segundo, incluyendo bienes y servicios, representa el 72% del Producto Bruto Regional de la provincia de Córdoba, lo que implica alrededor del 8 % del producto bruto a nivel país.

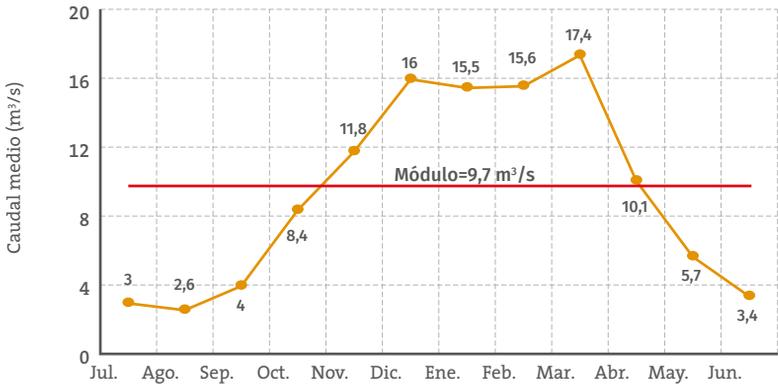
Córdoba se destaca por ser uno de los principales centros turísticos a nivel nacional, destacándose en la cuenca en cuestión las localidades de Carlos Paz (Dique San Roque) y Miramar (Laguna Mar Chiquita).

Ecorregiones y clima

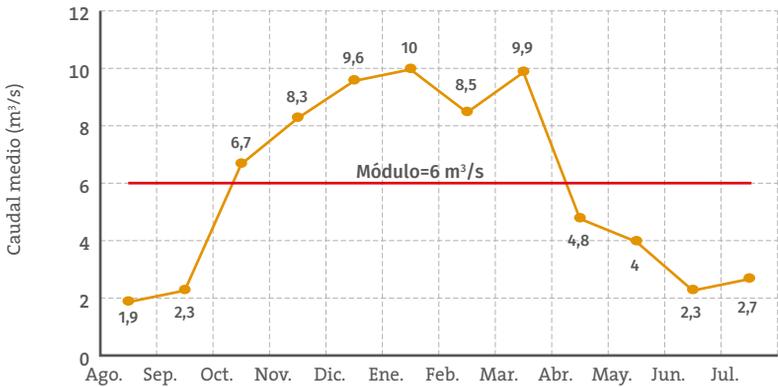
Las ecorregiones características de esta cuenca son: pastizales y bosques serranos: sierras de pendiente suave al este y abrupta al oeste. Consta de depresiones salinas y bolsones que carecen de desagües. Espinales y algarrobales pampeanos, llanura de transición entre las llanuras subtropicales del Chaco y las templadas de La Pampa.

El clima es semiárido en la región serrana y subhúmedo-húmedo y húmedo seco en la llanura de transición. Las precipitaciones acumuladas anuales disminuyen de este a oeste de los 1 000 mm a los 500 mm.

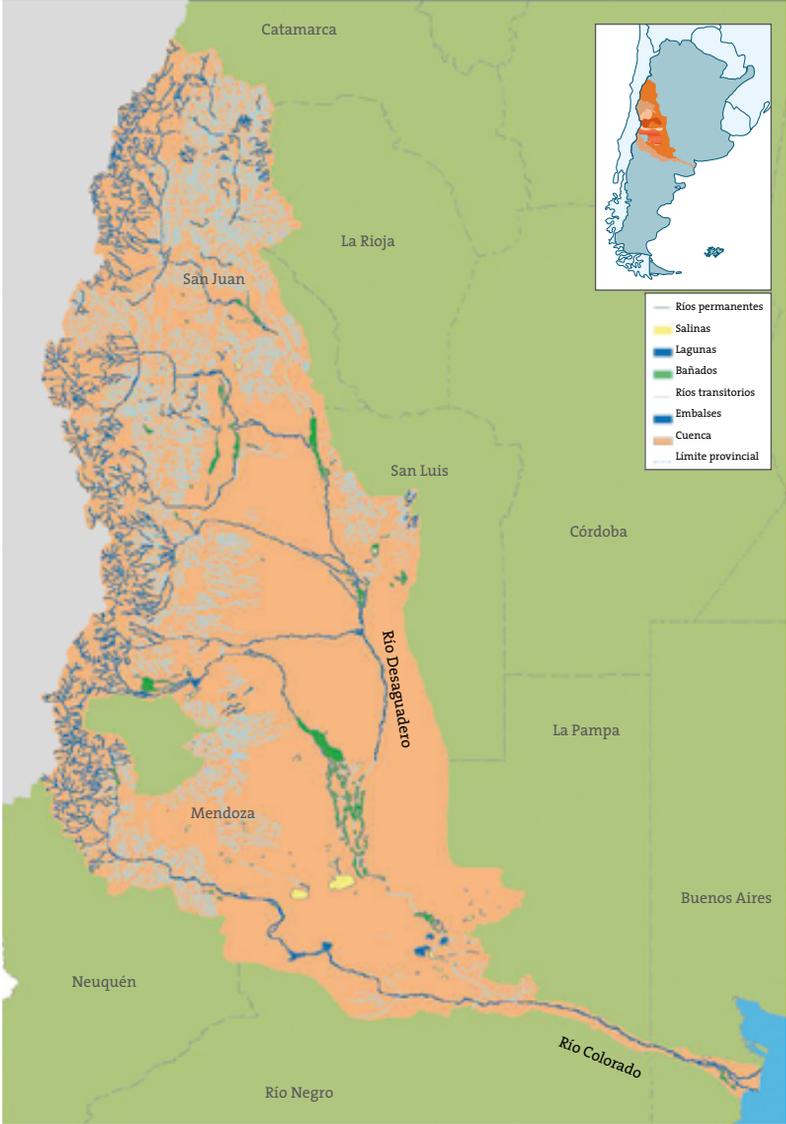
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1925-1981)
Río Primero en Dique San Roque



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1936-1952)
Río Los Molinos 2 en Potrero Garay



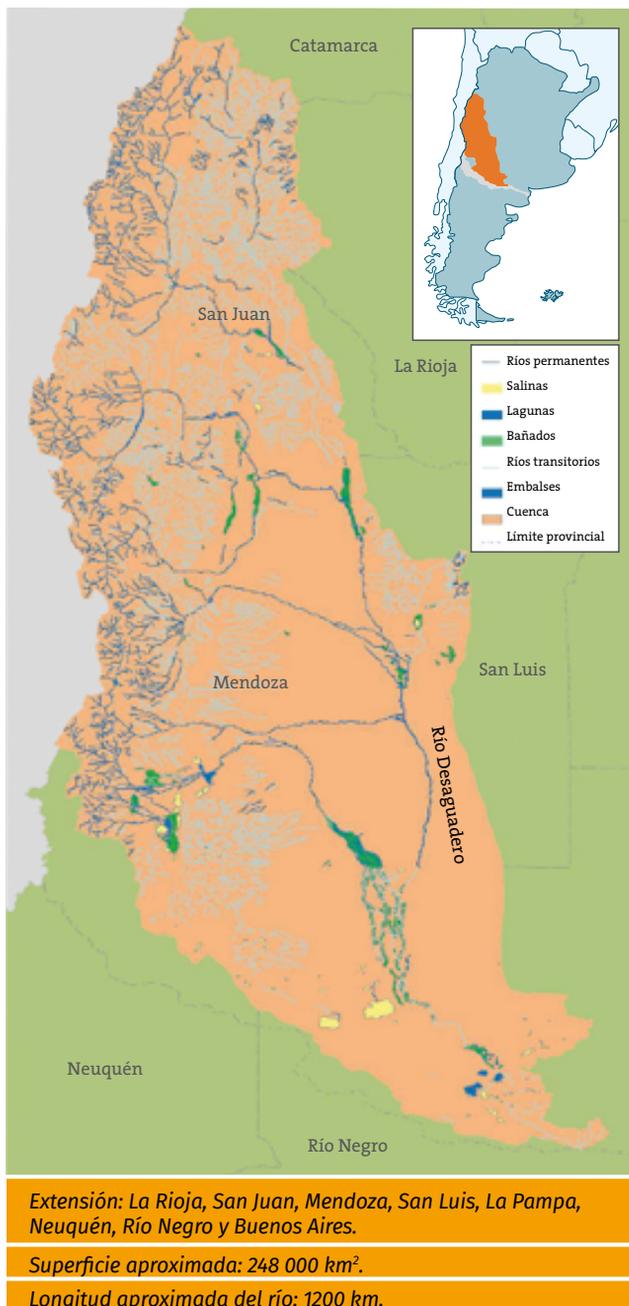
2.2.3.- Sistema Rio Colorado



Extensión: La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis, La Pampa, Neuquén, Río Negro y Buenos Aires.

Superficie aproximada: 350 000 km².

2.2.3.1.- Río Desaguadero



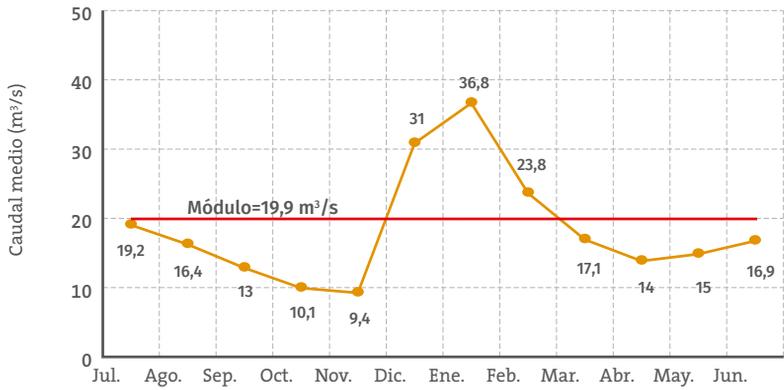
El río Desaguadero se extiende al oeste de Argentina, en una de las zonas más áridas del país. Nace en el noroeste de la provincia de La Rioja y desemboca en el río Colorado, y recibe distintos nombres en ese trayecto: Vinchina, Bermejo, Desaguadero, Salado, Chadileuvú y Curacó. El río Desaguadero recoge las aguas de sus afluentes que nacen en la Cordillera de los Andes y que son alimentados por precipitaciones nivales en las altas cumbres, principalmente en invierno, que se funden en primavera.

Sus afluentes más importantes son: el río Jachal, el río San Juan, el río Mendoza, el río Tunuyan, el río Diamante y el río Atuel. Casi todos fueron represados en su curso superior y medio, con el objetivo producir energía e irrigar las planicies de piedemonte, originando extensos oasis agroindustriales. Este aprovechamiento intensivo de los cursos medio y superior de estos ríos ha transformado a sus cursos inferiores y al colector, el río Desaguadero-Salado, en cauces generalmente secos. Además, este último recorre terrenos permeables, por lo que raras veces alcanza al río Colorado.

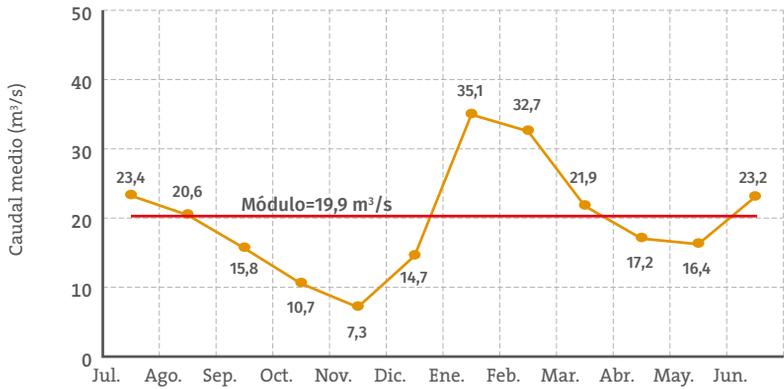
Ecorregiones y clima

El clima de la cuenca varía entre semiárido y árido andino puneño. Se caracteriza por abarcar parte de la ecorregión del Monte (algarrobales); Altoandina, por ejemplo, en las nacientes del río San Juan; Puna-Prepuna (ocupa la precordillera) y Patagonia Extraandina. La precipitación acumulada anual va entre los 500 y 200 mm anuales dependiendo de la región en cuestión.

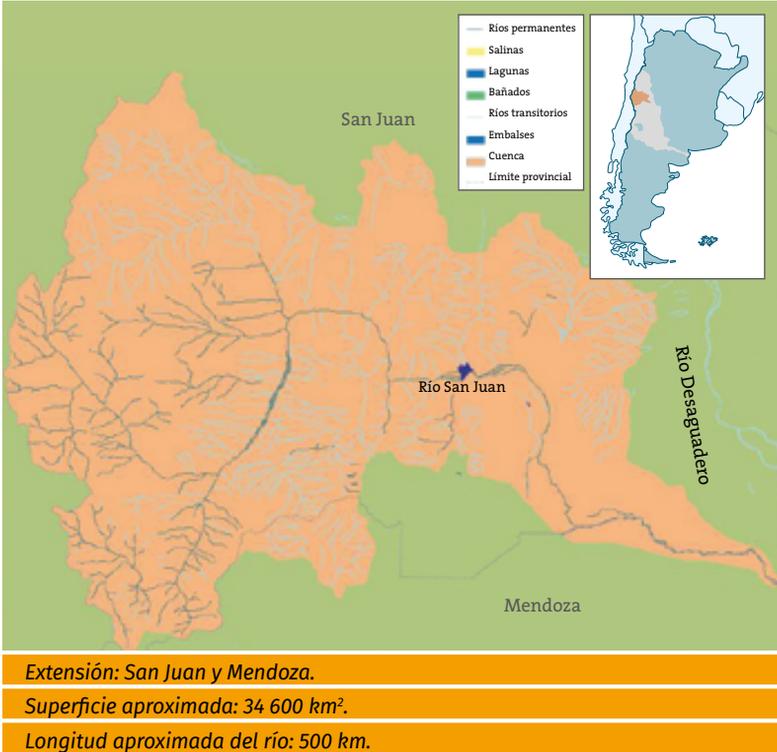
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1993-2009)
Río Desaguadero en El Encón



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1987-2009)
Río Desaguadero en Canalejas



2.2.3.2.- Río San Juan



El río San Juan es el más caudaloso de los afluentes al río Desaguadero. En su recorrido atraviesa toda la provincia de San Juan en dirección noroeste-sureste y el noroeste de Mendoza, actuando de línea divisoria entre ambas.

El río San Juan tiene su cabecera en las altas cumbres de la Cordillera de los Andes, en un área de nieves permanentes situada entre los 30° 30' y 32° 40' latitud sur, donde el clima es frío de gran amplitud térmica y se producen heladas durante todo el año con excepción de los meses de enero y febrero. La precipitación se produce en forma de nieve o granizo y su media anual es de 100 a 200 mm.

En el sector medio e inferior de la cuenca el clima es seco y cálido, y en el verano se producen precipitaciones de tipo torrencial que determinan una importante erosión hídrica por las altas pendientes y las características de infiltración, formándose abanicos de deyección de gran amplitud en algunos casos.

El régimen es nival de primavera-verano. Desde su nacimiento en la confluencia de los ríos Castaño y de los Patos en la Cordillera, hasta su desembocadura en el río Desaguadero, el río casi no tiene afluentes; solo incorpora por su margen derecho a dos ríos permanentes de caudales medios, debido a la sequedad extrema que caracteriza las zonas cordilleranas. En su último tramo, este río se comporta como un típico río de llanura, ya que su cauce se amplía notablemente. Frente a la ciudad de San Juan posee una amplitud de 4 km y sus aguas merodean de una margen a otra por tres hondonadas principales. Aguas abajo, además describe meandros hasta llegar a la laguna de Guanacache. El río hace posible la existencia del oasis principal de la provincia, en el que se halla su capital.

Aspectos socioeconómicos

El río San Juan recorre los valles del Tulum y Ullúm-Zonda y permite el desarrollo de los “oasis” irrigados, único modo de lograr la producción agrícola ya que la precipitación media anual es extremadamente baja.

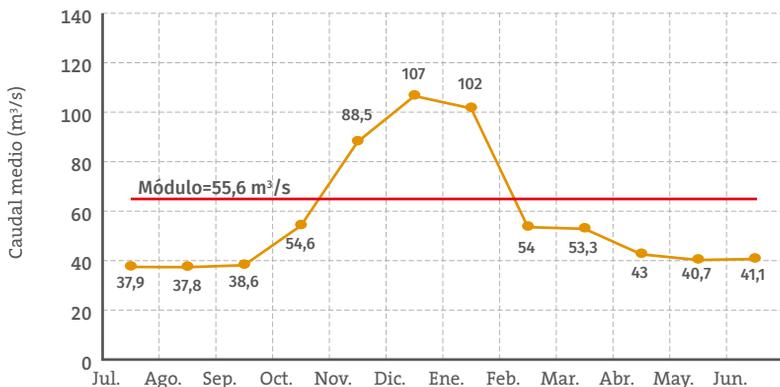
Las tres cuartas partes de las tierras incorporadas a la producción se encuentran en el Valle del Tulum, que tiene como centro poblacional a la Ciudad Capital y están destinadas al cultivo de vid, hortalizas, frutales y olivos. Al cultivo de viñedos se destina alrededor del 45% del total del área cultivada en la provincia. En el sector industrial se destaca el sector de elaboración de alimentos y bebidas, especialmente la elaboración de vinos y mosto. Otros sectores que le siguen en importancia son la fabricación de sustancias y productos químicos, cemento y el sector metalúrgico.

El conglomerado urbano más importante de la provincia es la ciudad de San Juan, que se ubica en las márgenes del río del mismo nombre, es la capital de la provincia y constituye un centro político, administrativo y comercial de importancia en la región.

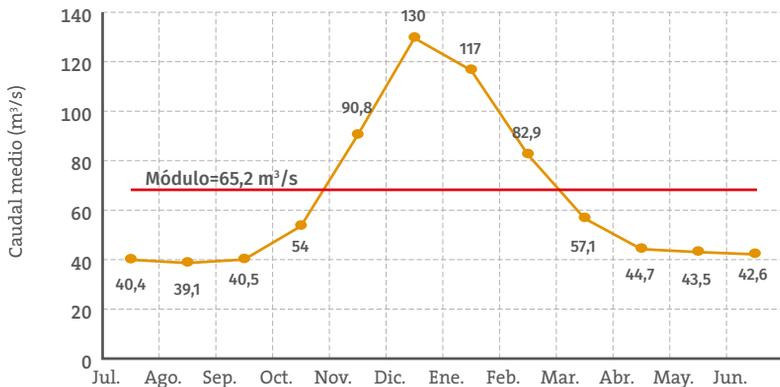
Ecorregiones y clima

Estepas de la Puna y Monte y Cardonales de la Prepuna. Esta región se caracteriza por su déficit hídrico. Clima árido con precipitaciones anuales acumuladas entre 400 y 100 mm anuales según la región. La temperatura media anual oscila entre los 8 y 12 °C.

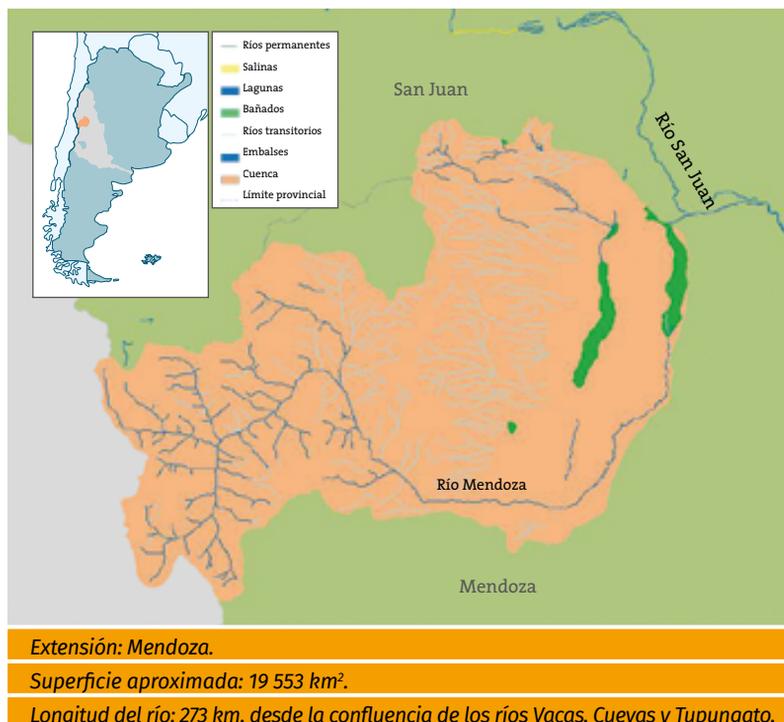
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1971-2006)
Río San Juan en Km 101



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1909-2009)
Río San Juan en Km 47,3



2.2.3.3.- Río Mendoza



La Cuenca del Río Mendoza recoge sus aguas en el sector de la Cordillera de los Andes ubicado entre los cerros Aconcagua (6959 msnm) y Tupungato (6570 msnm). Este río va desde alturas superiores a los 6000 msnm en la frontera con la república de Chile y de 600 msnm en su punto de descarga. Los ríos Vacas, Cuevas y Tupungato son sus principales afluentes y su límite norte son las Lagunas del Rosario.

Su régimen es nival y glacial, habiendo aumentado en los últimos años la importancia de las contribuciones que hacen los glaciares al escurrimiento superficial de los ríos debido a la escasez de la precipitación nival. Debido a las obras hidráulicas (derivaciones) que se hacen para alimentar la red de riego, a partir de la ciudad de Mendoza el río solo transporta agua cuando se producen crecidas o deben realizarse tareas de limpieza y desarenado en las obras de derivación de los diques derivadores. En la cuenca también se ha desarrollado un sistema para el aprovechamiento del agua subterránea estimándose que la extracción promedio anual por bombeo es de alrededor

de los 385 hm³/año. La demanda de agua para potabilizar (uso doméstico, municipal, estatal colectivo, comercial), alcanzó los 196,47 hm³ (año 2003). El uso consuntivo industrial en los principales establecimientos es de 12 hm³, aunque no se han contabilizado extracciones de agua subterránea que efectúan algunas industrias.

Aspectos socioeconómicos

En el ámbito del río Mendoza, y debido a la red de riego, se ha desarrollado el oasis más extenso y de mayor relevancia económica y poblacional de la provincia. Aquí se localiza el Área Metropolitana de Mendoza, principal núcleo urbano. Esta cuenca es la primera en la provincia en generación de valor agregado económico y tiene los mayores porcentajes de industrialización e inversión provinciales.

El área de aprovechamiento agrícola de la cuenca cuenta con aproximadamente 158 000 ha empadronadas con derecho a riego. Cabe señalar que la eficiencia del riego y conducción en las fincas particulares a veces resulta insuficiente debido a los sistemas de riego utilizados. El cultivo principal es la vid, es importante también la producción de frutales de carozo (duraznos y ciruelas) y la horticultura.

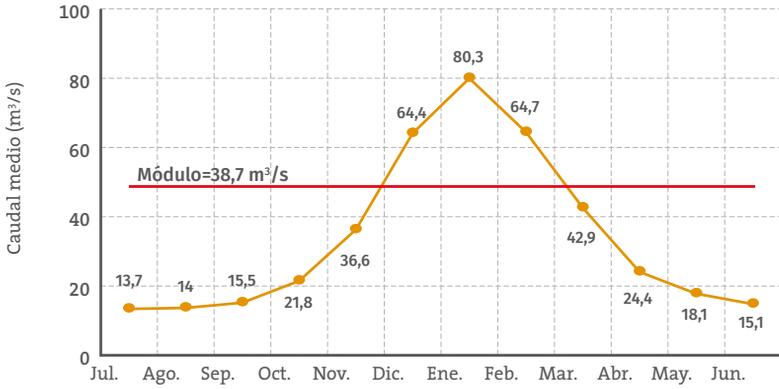
Ecorregiones y clima

Esta cuenca se caracteriza por presentar grandes diferencias climáticas debido a los grandes gradientes de altura en unos pocos km, desde sus nacientes, a más de 6000 msnm, a 600 msnm en su punto de descarga. Se distingue la subregión de los montes, que con inviernos relativamente fríos favorece los cultivos de vid, olivos, frutales, etc. Las precipitaciones anuales acumuladas varían entre 100 y 600 mm. La mayoría de la superficie de esta cuenca corresponde a la ecorregión de Monte y Cardonales de la Prepuna, albergando en su zona norte la región de Estepas Altoandinas.

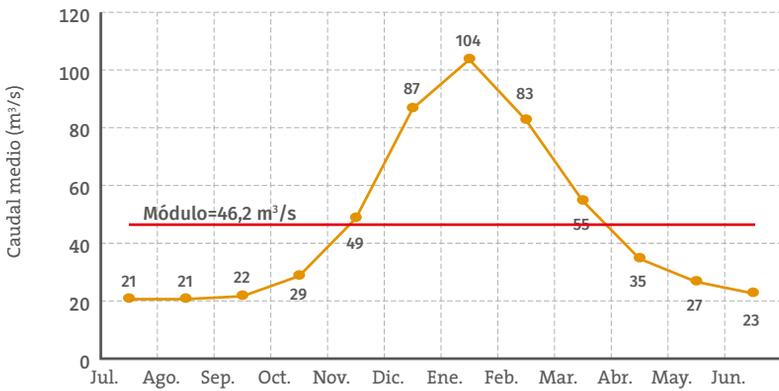
Humedales

Lagunas de Guanacache forma parte de los humedales del centro oeste argentino, humedal de 580 000 ha que recibe agua de los ríos San Juan y Mendoza. este sistema de lagunas fue declarado sitio RAMSAR en el año 1999.

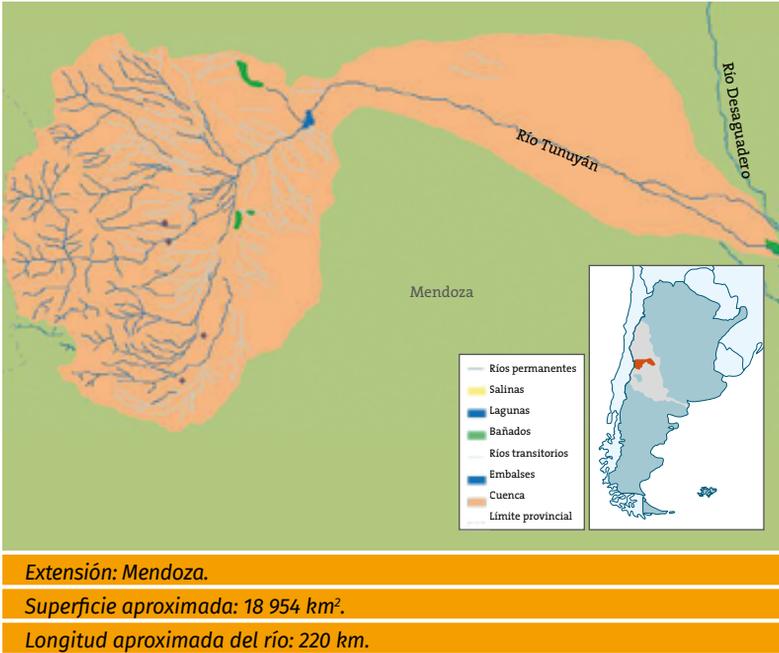
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1940-2000)
Río Mendoza en Punta de Vacas



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1956-2009)
Río Mendoza en Guido



2.2.3.4.- Río Tunuyán



Las nacientes de esta cuenca se encuentran en los glaciares de la cordillera principal, en la vertiente sudoeste del volcán Tupungato. El borde occidental se extiende a lo largo de 90 km de esa cordillera —límite con Chile—, entre los 33° 20' (cerro Tupungato) y 34° 00' (cerro El Gorro) de latitud sur.

La red de alimentación más importante del río Tunuyán se desarrolla en su totalidad en el área comprendida entre la cordillera principal y el cordón del Portillo. El río, luego de alimentar dos oasis de riego en la zona de Piedemonte, llega ocasionalmente al río Desaguadero a una altura de 600 msnm.

La provincia de Mendoza ha realizado un inventario de glaciares que indica que la cuenca del río Tunuyán posee 108 cuerpos de hielo, que cubre en total una superficie de algo más de 145 km².

Se producen en esta cuenca fenómenos aluvionales que provocan inundaciones de los centros urbanos y daños en el sistema de riego.

En la cuenca se efectúa un gran aprovechamiento del agua subterránea, estimándose que se extraen 729 hm³ anuales en la zona centro y 237 hm³/ año en la zona del río Tunuyán inferior. El agua para consumo domiciliario y para uso industrial se obtiene principalmente de fuentes subterráneas.

A su vez se han desarrollado instrumentos jurídicos y técnicos, para regular y sistematizar el reuso de los efluentes cloacales tratados en actividades productivas, fundamentalmente agrícolas, denominadas Áreas de Cultivos Restringidos Especiales.

Aspectos socioeconómicos

En el ámbito del río Tunuyán, y por el empleo del riego, se han desarrollado dos oasis, uno en la Subcuenca del Tunuyán Superior, con 41 601 ha empadronadas con derecho a riego, y otro en la Subcuenca del Tunuyán Inferior, con 101 438 ha empadronadas con derecho a riego. En general hay baja eficiencia en la red de riego. En esas áreas se cultivan viñedos de alta productividad, frutales (manzana, pera), olivos, hortalizas, pasturas y forestales. A nivel provincial esta cuenca crea el mayor valor agregado agropecuario (64,3%).

La Cuenca del Río Tunuyán es la segunda en la provincia en generación de valor agregado económico. El sector más importante, en cuanto a su contribución es el agropecuario. Le siguen en importancia minas y canteras e industria manufacturera.

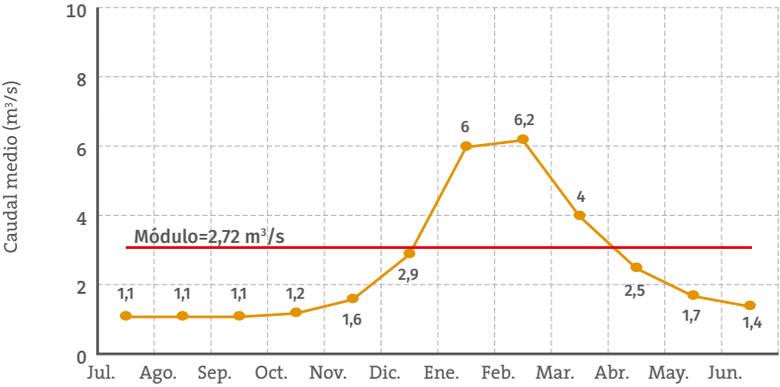
Ecorregiones y clima

Esta cuenca corresponde a la ecorregión de “Estepas Altoandinas” en la zona oeste observándose hacia el este la ecorregión de “Monte y Cardonales de la Prepuna”. El clima es semiárido y, al igual que la cuenca del río Mendoza, presenta grandes variaciones de altitud, que van desde los 6000 msnm en el extremo occidental a 300 msnm, en la zona oriental.

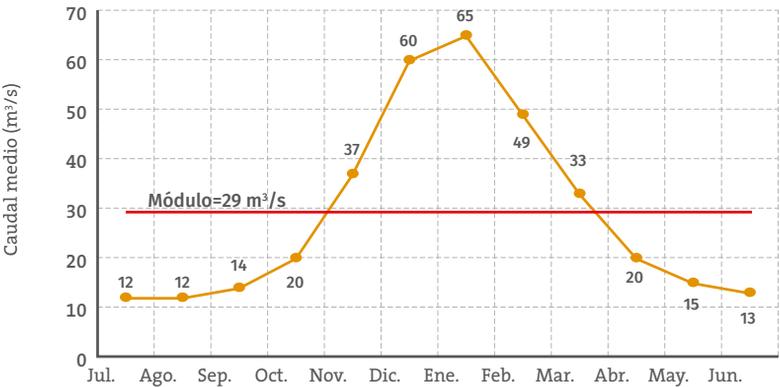
Humadales

Se observa, al igual que para la del río Mendoza, la presencia de bañados y lagunas que sirven como hábitat de flora y fauna lacustre.

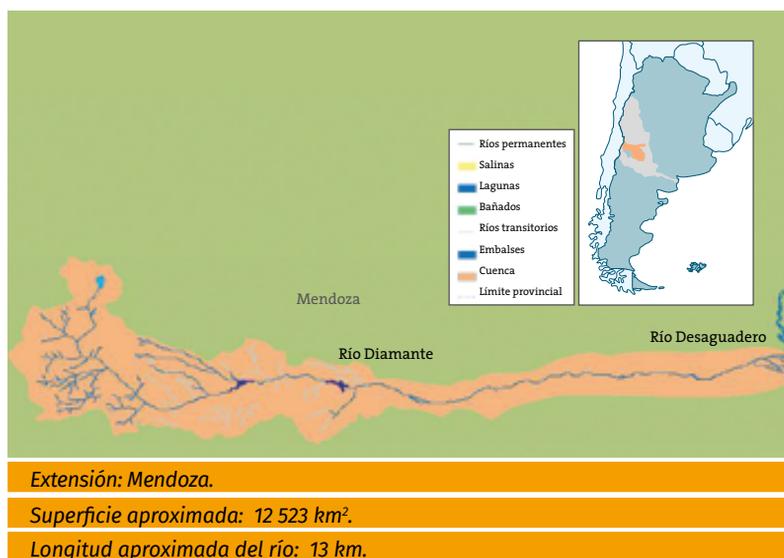
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1941-1945)
Río Las Tunas en Pto. Santa Clara



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1954-2009)
Río Tunuyán en Valle de Uco



2.2.3.5.- Río Diamante



La cuenca Río Diamante está comprendida entre los meridianos 70° 03', a 68° 34' de longitud oeste y los paralelos 34° 04' y 34° 44' de latitud sur. En el sector occidental, al este del volcán Maipú (5323 msnm) nacen pequeños arroyos permanentes que (a más de 3300 msnm), forman la laguna del Diamante (12,7 km² de superficie), laguna Barroso y una serie de lagunas temporarias. A partir de allí se forma un eje lineal encauzado que origina el río Diamante que, luego de recorrer alrededor de 340 km, en ocasiones llega al río Desaguadero-Salado, a unos 600 msnm.

Este río tiene un comportamiento hidrológico netamente nival, pero en la zona media, durante los meses de verano se producen aportes hídricos debido a las precipitaciones pluviales de origen convectivo. Se producen escurrimientos pluvioaluvionales que ocasionan daños a la infraestructura de riego y a los cultivos.

En las cuencas del río Diamante y del Atuel se utiliza un mismo acuífero para la obtención de agua subterránea, y se estima que la cantidad extraída tiene un valor máximo estimado de 120 hm³. La demanda de agua para potabilizar es de 30 hm³ (de los cuales 25 hm³ corresponden a la fuente de agua super-

ficial). Para usos industriales, se satisface con extracción de agua subterránea y su cantidad está comprendida en el valor de extracción referido precedentemente.

Se han desarrollado instrumentos jurídicos y técnicos, para regular y sistematizar el reúso de los efluentes cloacales tratados en actividades productivas, fundamentalmente agrícolas, las Áreas de Cultivos Restringidos Especiales.

Aspectos socioeconómicos

Las cuencas de los ríos Atuel y Diamante, en conjunto, son las terceras en la generación de valor agregado económico en la provincia. Pero los departamentos comprendidos dentro de las cuencas de los ríos Diamante y Atuel concentran la mayor creación de valor agregado en electricidad, gas y agua, particularmente en la generación eléctrica basada en el recurso hídrico (26,1%).

La cuenca del río Diamante tiene 81 400 ha empadronadas con derecho de riego superficial. El 42% es utilizada para actividades agrícolas, mientras que un 57% de este territorio se encuentra todavía sin explotación para dichas actividades. La superficie cultivada está dedicada a los frutales (41%); vides (35%), pasturas (11%), forestal (9%) y horticultura (4%). Existen también grandes establecimientos dedicados a la industria vitivinícola.

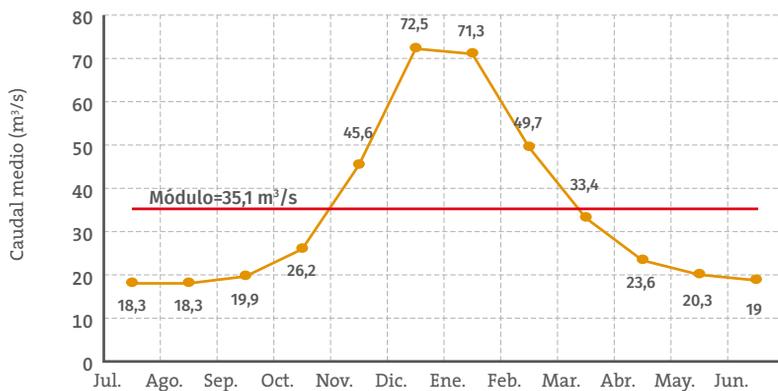
Ecorregiones y clima

Estepas alto andinas en la zona cordillerana, montes de cardonales y prepuna en el resto de la cuenca.

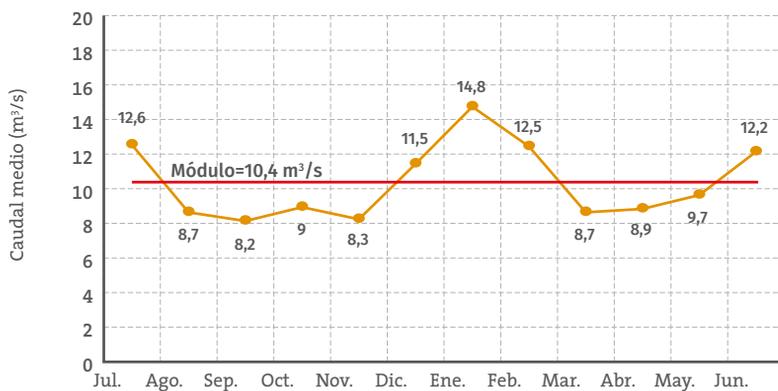
El clima de la cuenca es árido en la zona baja de la cuenca, semiárido en la zona precordillerana y húmedo en las zonas altas.

La precipitación acumulada anual se encuentra entre los 700 y 300 mm, registrándose regiones con precipitaciones inferiores al límite de sequía. La temperatura media no supera los 23,1 °C en enero para la zona más cálida, mientras que la media del mes más frío se encuentra por debajo de los 6,5 °C.

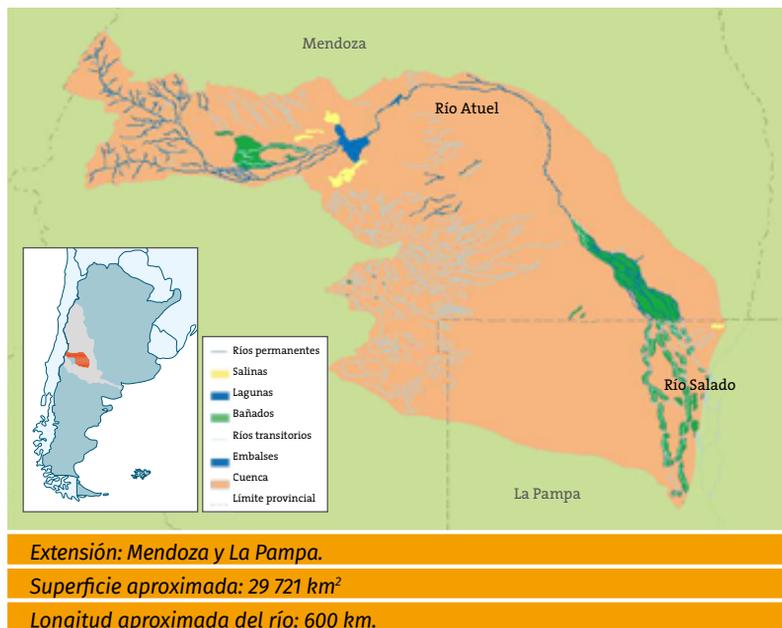
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1970-2009)
Río Diamante en La Jaula



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1900-2009)
Río Diamante en Monte Comán



2.2.3.6.- Río Atuel



Esta cuenca está comprendida entre los 34° y 35° de latitud sur y los 67° 30' y 70° de longitud oeste. Su borde oeste está definido por la Cordillera en un área que cuenta con picos que superan los 5000 msnm.

La provincia de Mendoza ha realizado un inventario de glaciares que indica que la cuenca del río Atuel posee 227 cuerpos de hielo, que cubren en total una superficie de algo más de 186 km² y que actúan como reguladores naturales de escorrentía hacia el río. Sus aportes se producen fundamentalmente en la zona periférica de la Laguna del Atuel, que está ubicado en la vertiente occidental del volcán Ove-ro y colecta los derrames de las laderas circundantes, constituyendo una subcuenca que tiene por emisario al río Atuel.

En el río Atuel se ha construido un sistema de embalses con los objetivos de contener avenidas por deshielos, regular caudales, generar energía hidroeléctrica y utilizar aguas para riego. Los embalses se alojan a lo largo del Cañón del Atuel, una formación topográfica de 40 km de longitud salvando un desnivel de 550 m que es aprovechado por 4 centrales hidroeléctricas, Nihuil 1, Nihuil 2, Nihuil 3 y Nihuil 4, que se corresponden con sus respectivas presas: Diques El Nihuil, Aisol, Tierras Blancas y Valle Grande, respectivamente.

Luego de su paso por los embalses y de alimentar el sistema de riego, el río Atuel se pierde por infiltración en el desierto del sureste mendocino y solo por crecidas extraordinarias puede llegar al río Salado (continuación del Desaguadero). En las cuencas del río Diamante y del Atuel se utiliza un mismo acuífero para la obtención de agua subterránea y se estima que la cantidad extraída tiene un valor máximo de 120 hm³. Los volúmenes de agua que se extraen del río Atuel para uso domiciliario y para uso industrial son del orden de los 3,73 hm³ y 0,8 hm³ al año, respectivamente.

Aspectos socioeconómicos

Las cuencas de los ríos Atuel y Diamante son las terceras en la generación de valor agregado económico en la provincia. Pero los departamentos comprendidos dentro de estas cuencas concentran la mayor creación de valor agregado en electricidad, gas y agua, particularmente en la generación eléctrica basada en el recurso hídrico (26,1%).

La cuenca del río Diamante tiene 109 818 ha empadronadas con derecho de riego superficial. El 35% es usado para actividades agrícolas, mientras que un 64% se encuentra todavía sin explotación para dichas actividades. La superficie cultivada está dedicada a los frutales (35%); vides (23%), forestal (16%), olivo (12%) y horticultura (3%). El producto que genera mayor ingreso es la vid.

Ecorregiones y clima

Monte y Cardonales: monte en la zona de llanuras y mesetas presentándose estepa arbustiva en la zona de bosque de monte y cardonales de la prepuna. Temperatura: entre 12° C y 16° C de norte a sur. Precipitación acumulada anual entre 300 y 400 mm.

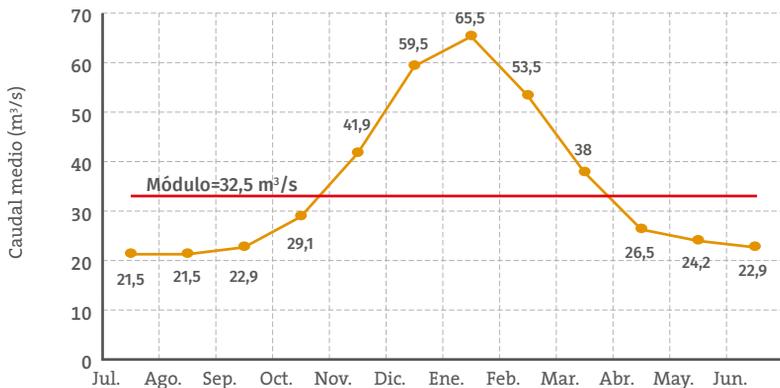
Estepas Altoandinas: en la zona de la cordillera de los Andes. Clima frío con nieves permanentes y grandes amplitudes térmicas diarias. Temperaturas bajo 0° C ocho meses al año.

Bosque Andino Patagónico: sector de poca extensión de la región sur de la cuenca. Clima templado frío. Se observan bosques de Pehuén, Lengua y Ñire.

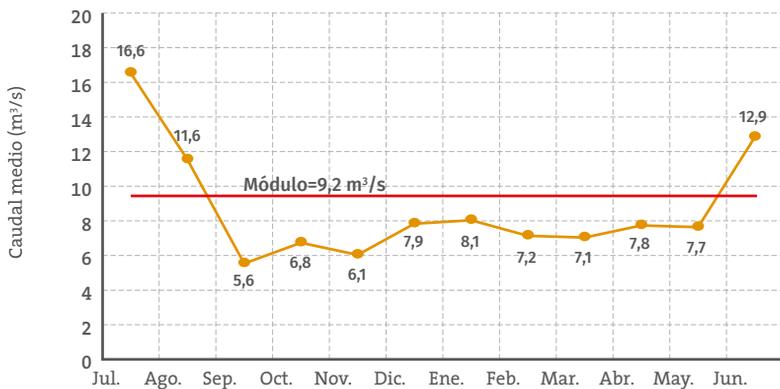
Humedales

Ocupaban una superficie de alrededor de 9.000 km². En la actualidad, debido a la utilización del agua, su superficie disminuyó a aproximadamente 250 000 ha.

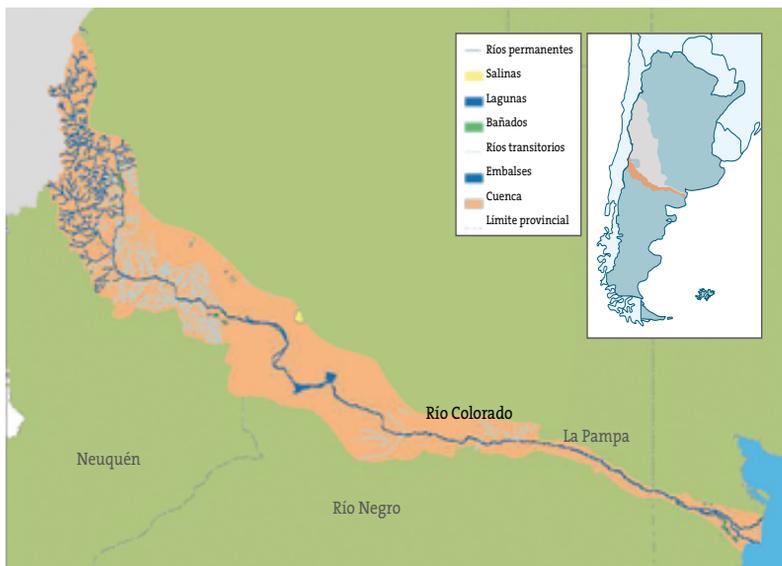
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1906-2009)
Río Atuel en La Angostura



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1985-2009)
Río Atuel en Cramensa



2.2.3.7.- Río Colorado



Extensión: Neuquén, Río Negro, Mendoza, La Pampa y Buenos Aires.

Superficie aproximada: 47 459 km².

Longitud del río: 920 km a partir de la confluencia de los ríos Grande y Barrancas.

La cuenca del río Colorado se extiende sobre parte del territorio de las provincias de Neuquén, Río Negro, Mendoza, La Pampa y Buenos Aires. Sus fuentes se ubican en el oriente de la Cordillera de los Andes, donde su cuenca imbrífera, de aproximadamente 15 300 km², alimenta los ríos Grande y Barrancas, que confluyen para formarlo.

A partir de la confluencia de los ríos Grande y Barrancas, el río recorre 920 km atravesando la meseta patagónica, en un valle muy ancho de entre 2 y 4 km, hasta su desembocadura en el océano Atlántico. En ese trayecto solo recibe como afluentes a arroyos intermitentes de escasa importancia y al río Desaguadero-Curacó, que excepcionalmente le aporta agua.

El régimen del río Colorado es nival, creciendo en primavera con máximos caudales en diciembre. Sin embargo, en algunos años se pueden presentar crecidas de origen fluvial entre febrero y agosto, que pueden llegar a superar los 500 m³/s.

Aspectos socioeconómicos

A lo largo de las márgenes del río Colorado se desarrolla una gran cantidad de actividades productivas, algunas de ellas con intereses contrapuestos. El agua del río Colorado es utilizada como fuente de agua potable, para riego, ganado y hábitat de flora y fauna. Entre otras, son de importancia las actividades agrícolas, ganaderas y de extracción de petróleo. Estas actividades representan una amenaza para la calidad del agua del río Colorado, que recibe tanto descargas de origen doméstico como de la actividad petrolera y agropecuaria.

En esta cuenca la actividad extractiva de petróleo es relevante a nivel nacional. La construcción del embalse Casa de Piedra permitió regular las crecidas del río Colorado, producir energía y regar alrededor de 300 000 ha.

Ecorregiones y clima

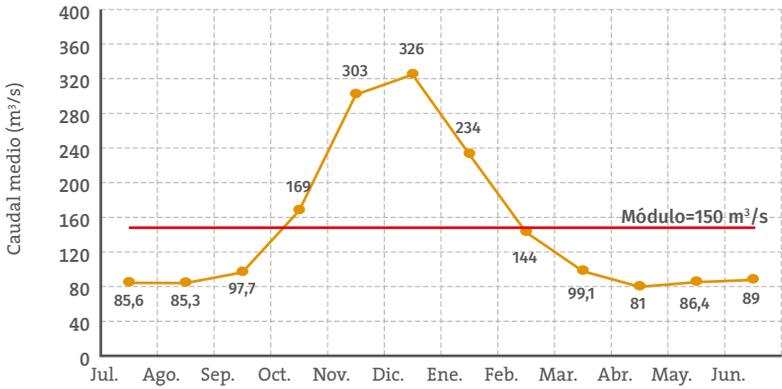
Altos andes, Puna, Estepa patagónica, Monte de llanuras mesetas y Espinal.

El clima es semiárido, frío con precipitaciones que van desde los 1000 mm anuales en algunas zonas cordilleranas a 200 mm anuales en la zona de monte de llanuras y mesetas.

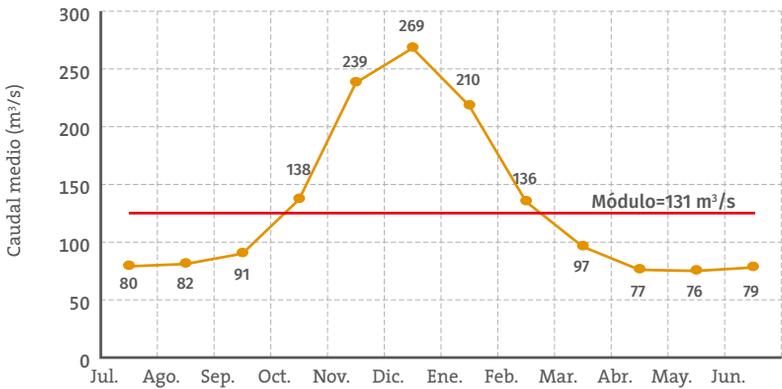
Humedales

Se encuentran numerosas lagunas y diques, como las lagunas Salina, Llancañelo y El Nihuil.

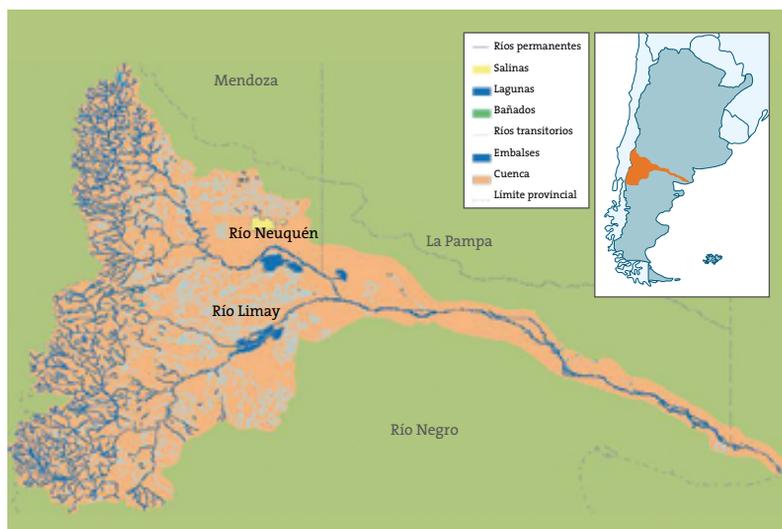
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1939-2009)
Río Colorado en Ruta Ranquil



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1918-2009)
Río Colorado en Pichi Mahuida



2.2.4.- Cuenca del Río Negro



Extensión: Neuquén, Río Negro y Buenos Aires.

Superficie aproximada total: 140 000 km².

Subcuenca Río Limay: 63.000 km²; Subcuenca Río Neuquén: 34.000 km².

Longitud del río: 700 km desde la confluencia de los ríos Limay y el Neuquén hasta su desembocadura en el océano Atlántico.

La cuenca del Río Negro es la más extensa de las cuencas del territorio de Argentina no compartidas con otros países. La parte superior se encuentra en la ladera oriental de los Andes Patagónicos, en una región en que los vientos del Pacífico descargan su humedad en la masa cordillerana, produciéndose abundantes precipitaciones nivales y pluviales. El régimen del río, hoy regulado por los diques, presenta dos crecidas, la primera tiene su pico en el mes de julio y es de origen pluvial, la segunda se origina en la fusión de la nieve y su pico se produce en noviembre.

El valle del Río Negro es muy ancho (entre 5 y 25 km) y permite el desarrollo de importantes áreas de cultivo, que contrastan con la aridez observada en la meseta patagónica.

Subcuenca del río Limay

El río Limay es el principal tributario del río Negro, ya que aporta las dos terceras partes del caudal que transporta este últi-

mo. El Limay drena una amplia cuenca lacustre situada entre los paralelos 38° 40' y 41° 30' Sur, en la ladera oriental de la Cordillera de los Andes Patagónicos, que incluye unos 30 lagos que ocupan depresiones de origen glaciario. Las abundantes precipitaciones nivales y pluviales y la moderada temperatura contribuyen a la formación de bosques que juntamente con los lagos atenúan las crecientes.

Subcuenca del río Neuquén

El río Neuquén, que en araucano significa rápido, correntoso, audaz, se caracteriza por sus crecidas rápidas con elevados caudales máximos. Su curso tiene una pendiente media de 4,22 m/km.

Sus nacientes se ubican en la Cordillera de los Andes en el límite con Chile, a una altitud de 2 280 m, donde recibe ríos y arroyos de régimen torrencial que vuelcan al río Negro violentas crecidas que provocaban inundaciones. La construcción de embalses y de obras complementarias ha permitido controlar sus crecidas.

Desde principios del siglo XX se han realizado obras de infraestructura de riego en el Valle del Río Negro que permiten el cultivo de aproximadamente 140 000 ha distribuidas en el Alto Valle, Valle Medio y Valle Inferior del río. Ello ha posibilitado que la región se convierta en una importante área productora de fruta fresca.

En la cuenca se encuentra la cuenca de hidrocarburos de Neuquén, cuya explotación proporciona la mitad del petróleo que se produce en el país y el 60% de la explotación de gas natural.

Aspectos socioeconómicos

El valle del Río Negro y Neuquén conforma un importante polo de desarrollo ya que produce en su conjunto alrededor del 3% del producto bruto interno del país.

Desde principios del siglo XX se han realizado obras de infraestructura de riego en el Valle del Río Negro que permiten el cultivo de aproximadamente 140 000 ha distribuidas en el Alto Valle, Valle Medio y Valle Inferior del río. Ello ha posibilitado que la región se convierta en una importante área productora de fruta fresca, con un volumen de producción es cercano a 1 200 000 tn por año, lo que corresponde al 80% de la producción total del país.

La ganadería es otra actividad de importancia habiéndose llegado a contabilizar hasta alrededor de 2 millones de cabezas de ganado ovino, bovino, caprino, equino y porcino, siendo las cabras el ganado más relevante en cuanto al número de cabezas (alrededor del 50% del total de cabezas).

Esta cuenca es la principal generadora de recursos energéticos del país tanto en lo que respecta a represas hidroeléctricas como a la explotación de hidrocarburos. Alrededor del 30% de las reservas petrolíferas comprobadas del país se encuentran aquí. Además, aproximadamente la mitad del petróleo que se produce y el 60% de la explotación de gas natural provienen de esta cuenca.

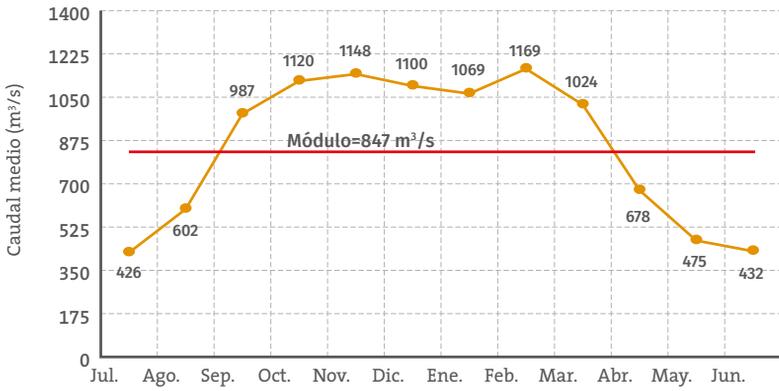
En ésta se encuentra una de las mayores obras hidroeléctricas del país, entre las que se destacan El Chocón, sobre el río Limay, y el complejo Cerros Colorados, sobre el río Neuquén, además de Alicurá y Piedra del Aguila. Las obras de ingeniería construidas en el río Neuquén y el Limay posicionaron a la cuenca como una gran productora de energía. Se ha instalado una potencia de 4 200 MW que producen una energía media anual de 13 500 GW/h. Ello representa alrededor del 50% de la producción de energía hidráulica. Cuatro líneas de 500 kV transportan el 90% de toda la energía generada a centros de consumo ubicados fuera de la región.

En la Cuenca Alta se encuentran varios de los principales centros turísticos de Argentina de renombre internacional como, por ejemplo, San Carlos de Bariloche, Villa La Angostura y Caviahue.

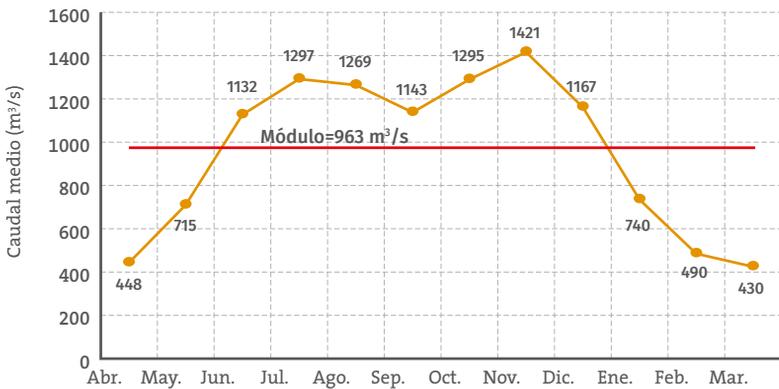
Ecorregiones y clima

La parte superior de la cuenca se encuentra en la ladera oriental de los Andes Patagónicos, en una región en que los vientos del Pacífico descargan su humedad en la masa cordillerana, produciéndose abundantes precipitaciones nivales y pluviales que alcanzan unos 4 000 mm anuales, generando un bosque denso que caracteriza el paisaje. Hacia el este, el régimen de precipitaciones pierde intensidad rápidamente, llegando al orden de los 200 mm anuales, lo que determina el paso en corta distancia de bosque andino patagónico a la estepa arbustiva patagónica (árida).

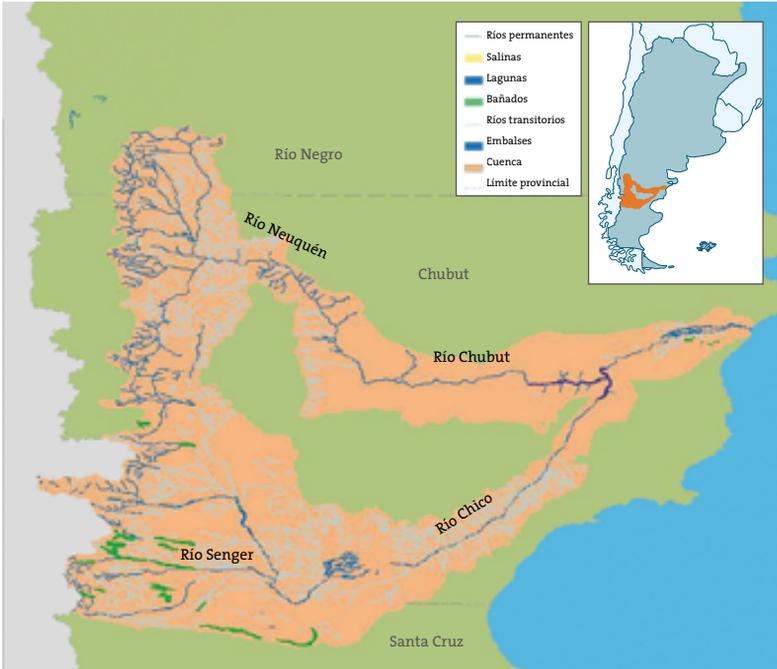
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1927-2009)
Río Negro en Primera Angostura



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1922-2009)
Río Negro en Paso Córdoba



2.2.5.- Cuenca del Río Chubut



Extensión: Chubut y Río Negro.

Superficie aproximada: 30 000 km².

Longitud aproximada del río: 867 km.

La cuenca del río Chubut se extiende entre 41° 29' latitud sur (a unos 2300 metros de altura) hasta los 43° 45' latitud sur y cuenta con numerosos afluentes en su cuenca alta. El río Chubut nace en la provincia de Río Negro en sierras de baja altura, al este de la Cordillera, y en su recorrido atraviesa íntegramente la provincia de Chubut, de oeste a este, y desemboca finalmente en el océano Atlántico, en Bahía Engaño (puerto de Rawson).

La Cuenca del Río Senguer-Chico es de tipo endorreica (con desagüe intermitente al océano), ya que el río Chico, que desemboca en el río Chubut, se comporta como emisario de los lagos solo cuando se producen crecidas extraordinarias. En el río Chubut, en la cercanía de la desembocadura del río Chico y aguas abajo de la misma se construyó un dique cuyo embalse cubre 7000 ha (Dique Florentino Ameghino). este regula el escurrimiento del

Chubut, permite el riego de alrededor de 50 000 ha que son destinadas a la producción agrícola y de energía.

Aspectos socioeconómicos

Las localidades más importantes de la cuenca son las ciudades de Trelew, principal centro urbano e industrial, y Rawson, capital de la provincia. En el valle inferior del río Chubut se cultivan pasturas (alfalfa), frutales, hortalizas y flores. Se realiza también procesamiento de carne y tambo ovino. En la ciudad de Trelew se radica una importante actividad de servicios para el procesamiento de lana mediante lavaderos y peinadurías y se fabrican hilados sintéticos basados en nylon.

La construcción del Dique Florentino Ameghino, cuyo embalse tiene una superficie de 7000 ha y alberga unos 2000 hm³ de agua, permite, además de regular el flujo del agua, producir energía, regar y proveer agua potable a la ciudad de Puerto Madryn, ubicada a una distancia aproximada de 100 km del dique y fuera de la cuenca. La superficie bajo riego es de alrededor de 50 000 ha.

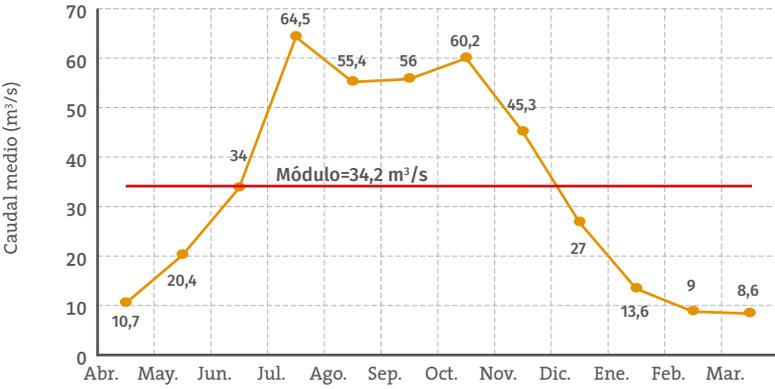
Desde el punto de vista turístico, entre otras, se destacan las ciudades de Trelew, Gaiman, Rawson y Puerto Madryn, por recibir visitantes de todo el mundo.

Ecorregiones y clima

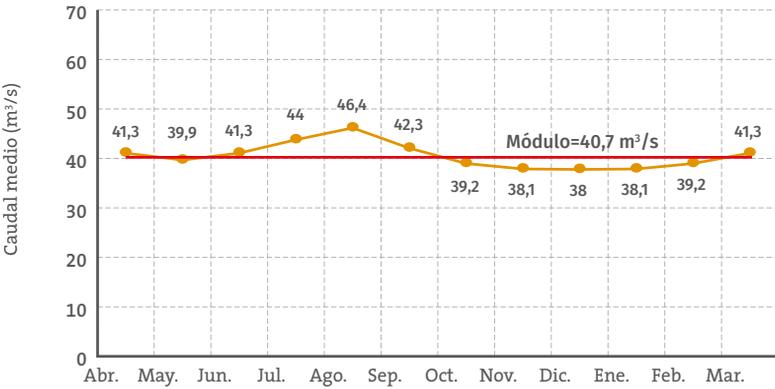
Bosques patagónicos en la zona cordillerana, que a medida que se avanza hacia éste va dando lugar a la estepa patagónica, monte de llanuras y mesetas. Las precipitaciones anuales acumuladas son de 2000 mm en la zona cordillerana, disminuyendo rápidamente a menos de 200 mm anuales al comenzar la estepa patagónica. Existen zonas de la cuenca donde prácticamente no llueve y es destacable el contraste existente entre la aridez de la meseta patagónica y la zona del valle inferior del río Chubut.

En la cuenca alta se encuentran 7 lagos naturales de importancia que abarcan una superficie total aproximada de 1449 km². El río Senguer nace en el extremo oriental del lago Fontana y desemboca en la mayor cuenca lacustre de las mesetas patagónicas, integrada por los lagos Musters y Colhué Huapi.

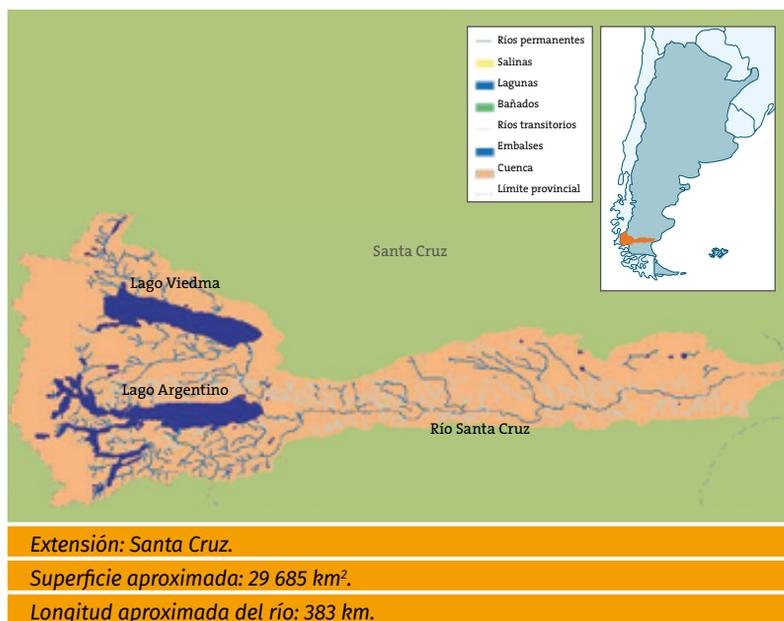
Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1990-2009)
Río Chubut en Gualjaina



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1992-2009)
Río Chubut en Valle Inferior



2.2.6.- Río Santa Cruz



La cuenca de río Santa Cruz ocupa una superficie de 24 510 km² en la provincia del mismo nombre. Está ubicada entre los paralelos de 49° (Laguna del Desierto) y 50° 49' (Monte Stokes) siendo su límite oeste la divisoria de agua del macizo andino ocupada por los hielos continentales (2500 msnm).

La cuenca alta comprende las cuencas de los lagos Argentino y Viedma, con extensos cuerpos de hielo, y el río La Leona, que es el emisario de este último, desemboca en el Lago Argentino. La cuenca alta se caracteriza por ser un ambiente húmedo.

La cuenca media y baja (localizada a partir de los 72° oeste hasta el Atlántico) es la zona de escurrimiento del curso principal y se caracteriza por un ambiente árido y semiárido.

El río Santa Cruz es el más importante de la provincia y el segundo de la Patagonia después del río Negro. Su origen es netamente glaciar y fluvio-glaciar y por ser receptor de una cuenca lacustre muy extensa su régimen hídrico es de características regulares, con crecida estival correspondiente a la época de des-

hielos y estiaje invernal. Actuando los lagos en cuestión como reguladores naturales del caudal. Al salir de su cuenca alta, el río no recibe aportes importantes hasta la desembocadura en el océano Atlántico.

Aspectos socioeconómicos

Las principales actividades económicas de la cuenca son el turismo y la ganadería ovina.

Se destaca la actividad de pesca deportiva tanto en el río Santa Cruz como en los lagos Argentino y Viedma. En esta cuenca se encuentra el Parque Nacional Los Glaciares-Glaciár Perito Moreno.

La localidad de El Calafate se destaca por ser un polo receptivo de turismo internacional, con un gran desarrollo de infraestructura hotelera y servicios asociados a la actividad turística.

Ecorregiones y clima

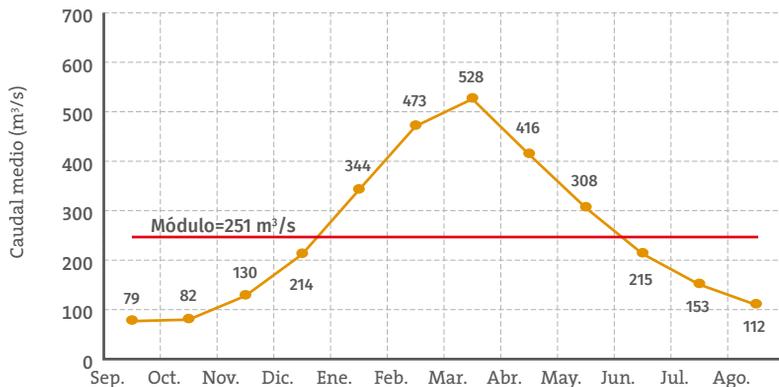
Esta cuenca incluye parte de la subregión húmeda andino patagónica y de la subregión patagónica (región árida) y se caracteriza por recibir la influencia directa de los vientos provenientes del océano Pacífico.

La temperatura media anual se encuentra dentro del rango de los 4 a los 12° C. y las precipitaciones van de los 6000 mm por año en la zona cordillerana (selva húmeda) a menos de 200 mm en la zona de la meseta patagónica (región árida 0-500 mm por año de precipitaciones).

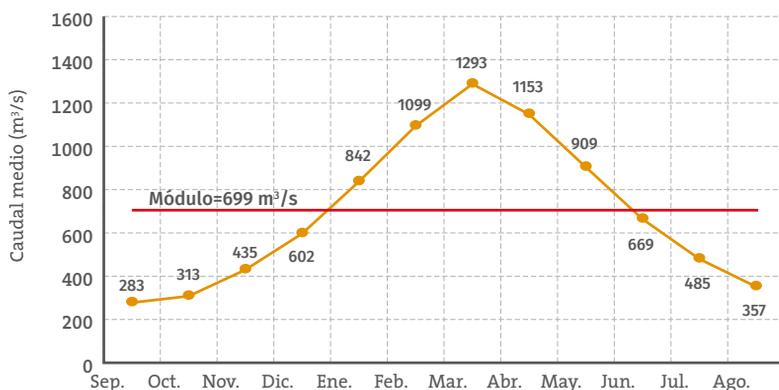
Lagos y Hielos Continentales

Se distinguen el lago Viedma y Argentino por su superficie, 1100 y 1600 km², respectivamente. En esta cuenca se encuentra El Parque Nacional Los Glaciares (superficie 600 000 ha), cuyo objeto es el de preservar parte de los Hielos Continentales y glaciares. Este parque está catalogado como Patrimonio Mundial por la UNESCO y allí se encuentra el glaciar Perito Moreno.

Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1955-2009)
Río La Leona en La Leona



Hidrograma de Caudales Medios Mensuales (serie 1955-2009)
Río Santa Cruz en Charles Fuhr





An aerial photograph of a coastal landscape. In the lower-left corner, a bay with clear, turquoise water is visible, bordered by a sandy beach and a steep, rocky cliffside. The rest of the image is dominated by rolling green hills and valleys, with a dirt road winding through the terrain. The sky is a pale, hazy blue, suggesting a clear day.

CAPÍTULO 3

EL AGUA Y LOS CONTAMINANTES PREDOMINANTES

3.1.- Introducción

3.1.1.- Aspectos generales

La disponibilidad de agua es una de las condiciones esenciales para que pueda existir vida humana. Además, las múltiples actividades que permiten construir el entramado de bienes y servicios que caracterizan a una sociedad requieren, en la gran mayoría de los casos, disponer de una provisión de agua segura con parámetros de calidad definidos. Así, mientras las necesidades de ingesta diaria de una persona deben satisfacerse con agua potable, es decir, con agua con contenido limitado de microorganismos y de compuestos químicos, en el caso de la agricultura o la industria el agua a utilizar puede contener cantidades variables de distintos componentes.

Sin embargo, para la enorme mayoría de los usos el agua que se encuentra en forma más abundante en el planeta, que es el agua de mar, no puede ser utilizada, ya que sus contenidos de sales exceden con mucho los límites tolerables tanto en agricultura como en la mayor parte de las aplicaciones industriales. Si tomamos en cuenta esta restricción, vemos que **menos del 3% del agua existente en el planeta es utilizable con un nivel de tratamiento razonable**, como lo muestran los datos de la Tabla 1 (1).

Por otra parte, **la distribución del agua dulce dista de ser homogénea**, como se ve de los datos volcados en la Tabla 2 (1). Por supuesto, la distribución tampoco es homogénea dentro de cada región. En la Tabla 3 se muestran los recursos renovables propios de agua dulce para distintos países, junto con el porcentaje de esos recursos que se utiliza anualmente.

En relación con esta tabla es necesario aclarar que el volumen renovable propio se refiere a la reposición que se genera como consecuencia de las precipitaciones que se producen dentro del territorio del país. Vale decir que no se incluyen los volúmenes que llegan como consecuencia de lluvias fuera del territorio, ya sea por filtración en acuíferos como por incremen-

to del caudal de corrientes de agua. Como dato ilustrativo, la capacidad estimada de extracción anual de agua en Argentina es de 994 km³/año frente a los 267 km³/año de recursos renovables propios. La Tabla 4 muestra la capacidad real de extracción de los mismos países junto con el volumen anual extraído y el volumen per cápita.

Tabla 1: Disponibilidad de agua en el planeta

Tipo	Volumen (km ³)	%	Origen	Volumen (km ³)
Agua de mar	1 365 000 000	96,5	Mares y océanos	1 365 000 000
Agua dulce	56 000 000	3,5	Lagos y ríos	96 000
			Agua subterránea*	23 400 000
			Glaciares**	32 900 000

Notas: *) Incluye pantanos, humedales y permafrost. **) Incluye nieves permanentes.

Fuente: UNEP (2008).

Tabla 2: Distribución del agua dulce por regiones

Región	Lagos y ríos (km ³)	Agua subterránea (km ³)	Glaciares (km ³)
Europa	2 600	1 600 000	18 200
Asia	30 700	7 800 000	60 700
África	31 800	5 500 000	--
América del Norte	27 100	4 300 000	200
América del Sur	3600	3 000 000	900
Oceanía	200	1 200 000	90 000
Groenlandia	--	--	2 710 000
Antártida	--	--	30 110 000
Total	96 000	23 400 000	32 900 000

Fuente: UNEP (2008).

Tabla 3: Volumen anual de agua dulce disponible y porcentaje utilizado para distintos países

País	Volumen renovable (km ³ /año)	Volumen anual utilizado (%)
Arabia Saudita	2,4	943,3
Argelia	11,2	54,6
Argentina	267	11,8
Australia	492	4,9
Bélgica	12	--
Bolivia	303,5	0,7
Brasil	5418	1,1
Camerún	273	0,4
Canadá	2850	1,6
China	2813	19
Corea del Sur	64,9	39,3
Dinamarca	6	17,4
Ecuador	432	3,5
EEUU	2818	16,8
Etiopía	122	4,6
Francia	200	15,9
India	1276	47,8
Irak	35,2	187,5
Irán	128,5	72,4
Israel	0,75	241,8
Italia	182,5	24,8
Japón	430	20,6
Marruecos	29	43,4
México	409	19,3
Nueva Zelanda	327	0,6
Rusia	4313	1,5
Sudáfrica	44,8	27,9
Suiza	40,4	6,5
Total mundo	42 800	8,8

Fuente: *The World Bank (2013)*. World development indicators.

Tabla 4: Capacidad neta anual, volumen total de extracción y extracción per cápita. Datos al año 2000.

País	Capacidad (km ³ /año)	Extracción total (km ³ /año)	Per cápita (m ³ /año)
Arabia Saudita	2	17	786
Argelia	14	4,5	142
Argentina	994	32	745
Australia	340	14,8	786
Bélgica	13	9	877
Bolivia	300	1,2	149
Brasil	6950	37	216
Camerún	268	0,4	26
Canadá	2900	43,9	1430
China	2800	460	360
Corea del Sur	66	28	589
Dinamarca	13	1,2	228
Ecuador	314	5,6	440
EEUU	2480	469	1690
Etiopía	110	2,2	31
Francia	198	34,9	591
India	2085	380	377
Irak	96	42,8	1850
Irán	138	70	916
Israel	2	1,7	786
Italia	167	56,2	983
Japón	547	91	718
Marruecos	30	11	381
México	357	77,6	785
Nueva Zelanda	327	2	532
Rusia	4500	77,1	527
Sudáfrica	50	13,3	288
Suiza	50	2,6	351

Los datos de la Tabla 4 muestran **grandes diferencias en los volúmenes de consumo per cápita**. En efecto, frente a un consumo mundial per cápita de $593 \text{ m}^3/\text{año}$ se encuentran diferencias muy grandes que no se explican solo por razones de pobreza estructural (como en Camerún o Etiopía) sino también por los usos que se da al agua en cada país. En este aspecto, si clasificamos el uso del agua en tres grandes rubros: agricultura, industria y doméstico, la participación de cada sector en el consumo arroja los datos que se muestran en la Figura 1.

La Tabla 5 (2,3) muestra los datos de participación de los tres sectores indicados para cada uno de los países incluidos en las tablas anteriores, a partir de los datos disponibles en las bases de datos del Banco Mundial (2) y en el sistema AQUASTAT de la FAO (3).

Figura 1: Porcentajes de participación en el consumo de agua a nivel mundial

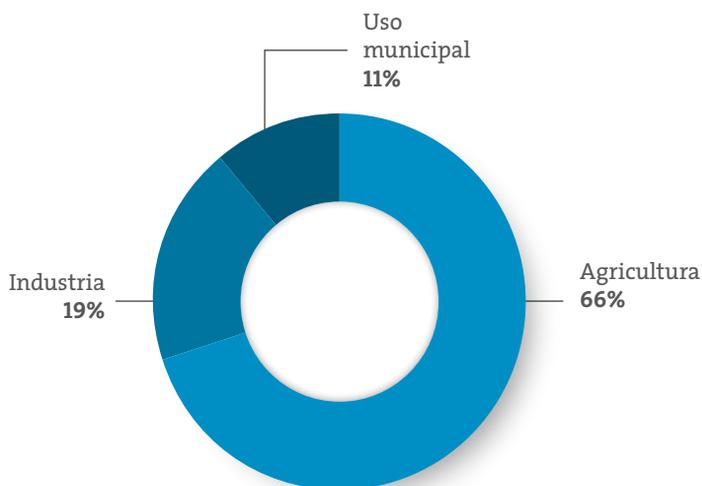


Tabla 5: Consumo sectorial de agua en países seleccionados y en el mundo

País	Agricultura (%)	Industria (%)	Municipal (%)
Arabia Saudita	82,2	4,3	13,5
Argelia	64,1	1,9	34
Argentina	73,7	11,1	15,2
Australia	59,5	16,2	24,3
Bolivia	57,2	15,2	27,6
Brasil	55,8	18	26,2
Camerún	76,1	7,1	16,8
Canadá	7,4	78,6	14
China	64,4	22,3	13,3
Corea del Sur	62	12	26
Dinamarca	51	8,2	40,8
Ecuador	91,5	2,5	6
EE UU	40,3	46	13,7
Francia	11	72	17
India	91,5	1,6	6,9
Irak	91,5	1,6	6,9
Irán	92,3	1,1	6,6
Italia	50	22	28
Japón	62,4	17,9	19,7
Marruecos	87,3	2,9	9,8
México	76,3	9,2	14,5
Nueva Zelanda	42,2	9,5	48,3
Rusia	26,2	49,5	24,3
Sudáfrica	62,5	57,5	40,6
Suiza	1,9	57,5	40,6
Mundo	68,1	23,4	8,5

Fuente: AQUASTAT (2019) FAO's Global Information System on Water and Agriculture.

Si se analizan las tendencias históricas de las variables críticas: aumento de población y consumo de agua, se observa que el crecimiento de la población presenta una tendencia claramente positiva, como se ve en el gráfico de la Figura 2, en tanto que la curva de consumo total de agua en función del tiempo muestra el comportamiento que se ilustra en el gráfico de la Figura 3.

Figura 2: Evolución de la población mundial (1900–2000)

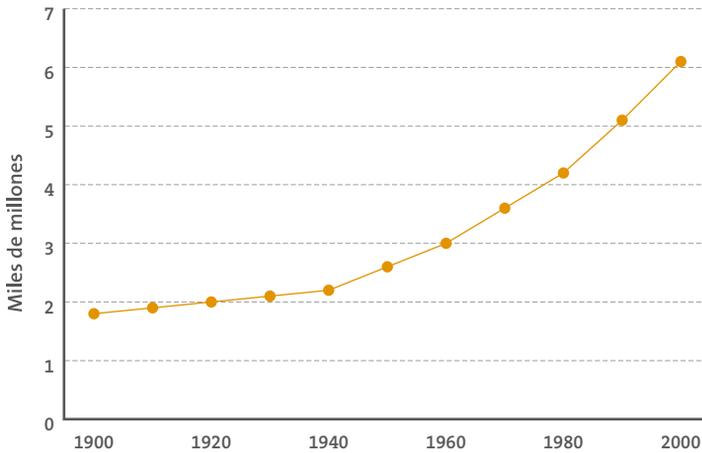
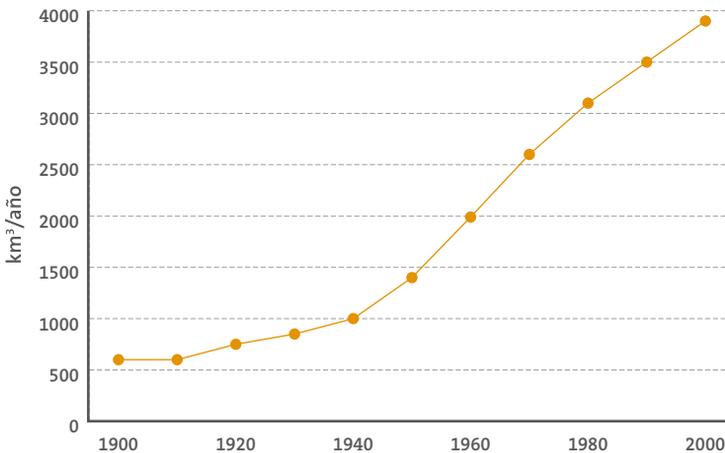


Figura 3: Evolución del consumo mundial de agua (1900–2000)



Es claro que el crecimiento del consumo de agua ha comenzado a desacelerarse, con un punto de inflexión en los años 70, en tanto que el crecimiento de población no muestra señales de tal cambio de tendencia. La consecuencia es que **el consumo per cápita ha comenzado a disminuir**, como se ve en la Figura 4.

Se considera ahora la evolución del área bajo riego (el principal destino de uso del agua se tiene), para el mismo período, en la Figura 5.

Figura 4: Consumo mundial de agua per cápita (1900–2000)

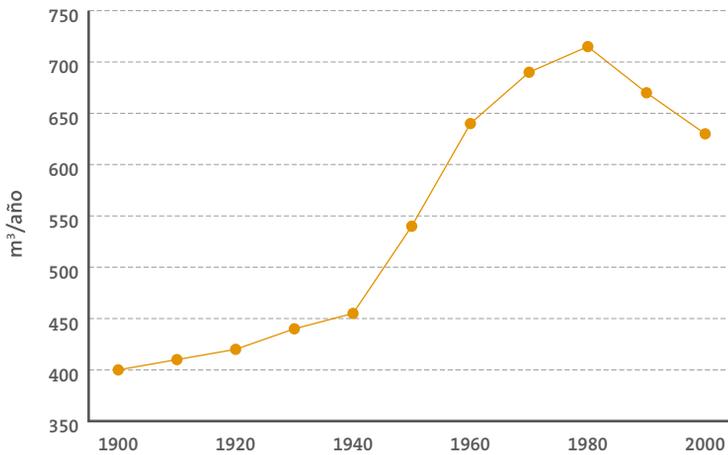
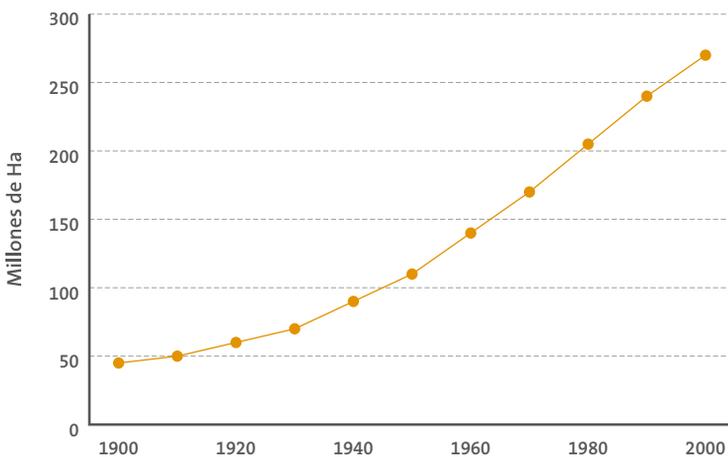


Figura 5: Evolución de la superficie irrigada (1900–2000)



3.1.2.- Conclusiones

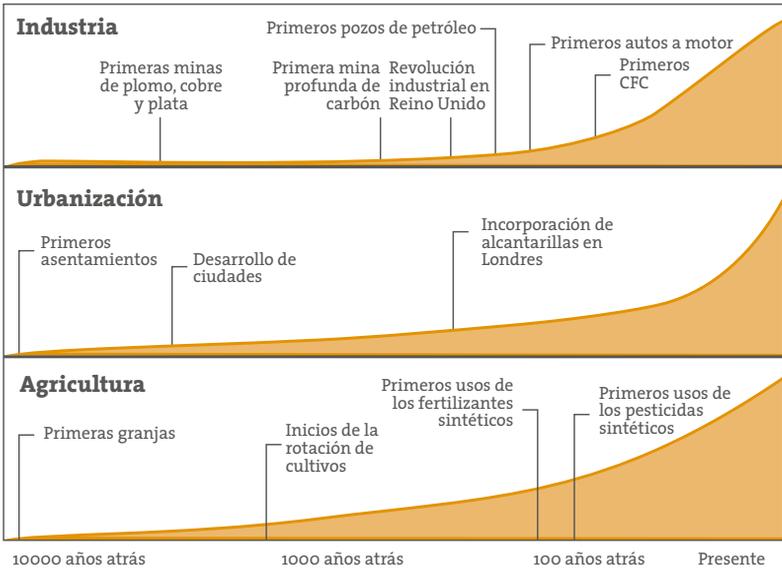
Los datos que se han expuesto hasta aquí permiten obtener algunas conclusiones. En primer lugar, debe señalarse que la demanda mundial de agua no llega al 10% del volumen total de agua renovable disponible en el planeta; sin embargo, la heterogénea distribución del recurso, que determina que haya hoy un número creciente de países con déficit de disponibilidad de agua, los costos crecientes de obtención y tratamiento y el consiguiente esfuerzo por realizar un uso más racional del agua han llevado a disminuir los niveles de consumo per cápita respecto de épocas en las que esas limitaciones no constituían un factor importante en los países más desarrollados.

En efecto, la adopción de técnicas más eficientes de uso del agua, sobre todo en lo que hace al riego, han llevado a que, a pesar de que la superficie irrigada aumenta a un ritmo semejante al del incremento de población, la evolución del consumo de agua muestre una desaceleración. Sin embargo, es claro que la demanda total continuará aumentando, impulsada por el crecimiento poblacional, y que satisfacer esa demanda será cada vez más difícil debido a los costos crecientes de obtención. Dado que actualmente la provisión está satisfecha en su casi totalidad por agua dulce obtenida de fuentes superficiales (lagos y ríos) y de acuíferos es importante reconocer que ese incremento de costos está asociado con las diversas formas de deterioro que sufren estas fuentes.

Como queda claro de los datos de las Tablas 1 y 2, la mayor parte del agua aprovechable está contenida en los acuíferos que, por una parte, son los que proveen el flujo de base para la alimentación de lagos y ríos y, por otra, son la fuente directa para el 40% de las áreas irrigadas y para la provisión de agua potable a más de 2 mil millones de personas (4).

Los acuíferos pueden ser afectados de dos maneras: por sobreexplotación o por contaminación. Los problemas de sobreexplotación se dan con frecuencia en ambientes urbanos y en áreas rurales. Por su parte, la contaminación puede tener origen en los tres sectores que hemos considerado: urbano, agrícola o industrial. La Figura 6 ofrece una imagen cualitativa de cómo ha evolucionado, a lo largo de la historia, el grado de contaminación generado por los tres sectores (4).

Figura 6: Evolución de la intensidad de las actividades en los tres sectores



Fuente: UNEP (2003).

El gráfico muestra que el grado de avance de la urbanización del planeta continúa aceleradamente, las actividades agrícolas mantienen una tendencia claramente creciente, pero con un leve descenso de su aceleración, en tanto que la intensidad de las actividades industriales está llegando a una meseta. Esto nos permite concluir que el crecimiento de la población es la principal fuerza impulsora del aumento de intensidad, toda vez que el desarrollo de mejores prácticas y procesos permite mejorar la productividad de los sectores industrial y agrícola.

3.2.- La urbanización y su impacto sobre la contaminación del agua

La urbanización de un territorio requiere, inevitablemente, contar con una provisión segura de agua dulce que sea potable o que pueda ser potabilizada a costos aceptables. Esa es la razón por la cual las primeras ciudades importantes crecieron a la vera de ríos de caudal importante. En la medida en que se desarrollaron tecnologías capaces de captar agua de los acuíferos se contó con una fuente alternativa de agua que permitió el establecimiento de núcleos urbanos importantes, y en muchos casos complementó y en otros sustituyó la captación de aguas superficiales como fuente principal de agua para la ciudad. Como consecuencia de ello, el porcentaje de la población que accede al agua potable a partir de recursos subterráneos creció rápidamente, como se ve de los datos de la Tabla 6 (4). En el caso de Argentina, más del 25% del agua captada para distribución en redes municipales proviene de recursos subterráneos.

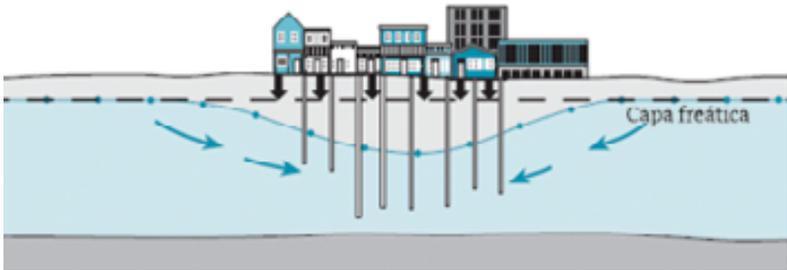
Tabla 6: Porcentaje de utilización de agua subterránea en el servicio de agua corriente

Región	Porcentaje de uso de agua subterránea
Asia	32
Europa	75
América del Norte	51
Sudamérica y América Central	29
Australia	15

Fuente: UNEP (2003).

El primer impacto que surge como consecuencia de un proceso de urbanización que se provee de agua a partir de un acuífero es la modificación gradual de sus características. La Figura 7 muestra las etapas típicas de la evolución del acuífero generada por el desarrollo de una ciudad.

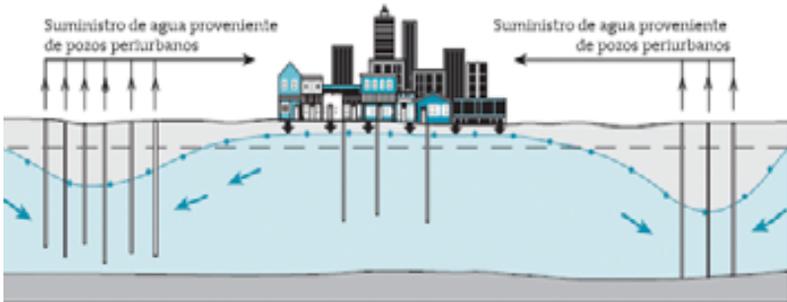
Figura 7a: Fase inicial del proceso de urbanización



Durante las etapas iniciales de la formación de un centro urbano se dan los siguientes efectos sobre el acuífero subyacente:

- ▶ Se deprime el nivel del techo del acuífero.
- ▶ Comienzan a descargarse al acuífero aguas servidas con distinto grado de tratamiento.
- ▶ Comienza a contaminarse el acuífero.
- ▶ Se expande la red pluvial concentrando la descarga de las aguas de lluvia.
- ▶ Pueden producirse episodios de subsidencia.

Figura 7b: Segunda fase del proceso de urbanización

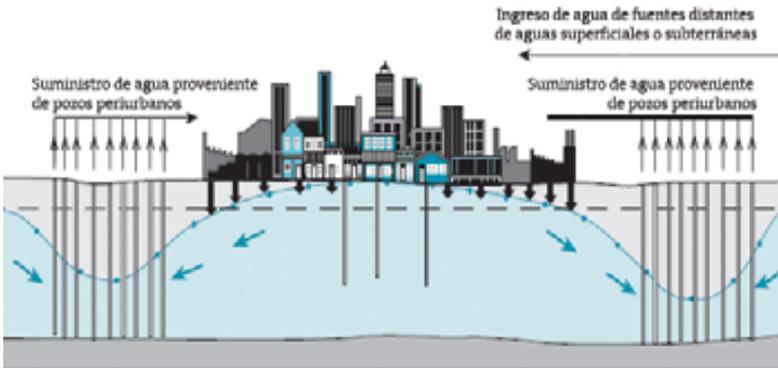


En la segunda fase del proceso de urbanización se desarrollan los siguientes acontecimientos:

- ▶ Los pozos de toma de agua del acuífero comienzan a ser abandonados por el aumento local de su profundidad y el mayor costo de tratamiento de potabilización.

- ▶ El nivel local del acuífero comienza a ascender por el cese de extracción local y por la mayor descarga de aguas servidas.
- ▶ El acuífero comienza a deprimirse en la periferia de la ciudad debido a la necesidad de habilitar nuevos pozos.
- ▶ Comienza a producirse contaminación de los pozos periurbanos.

Figura 7c: Fase final del proceso de afectación del acuífero



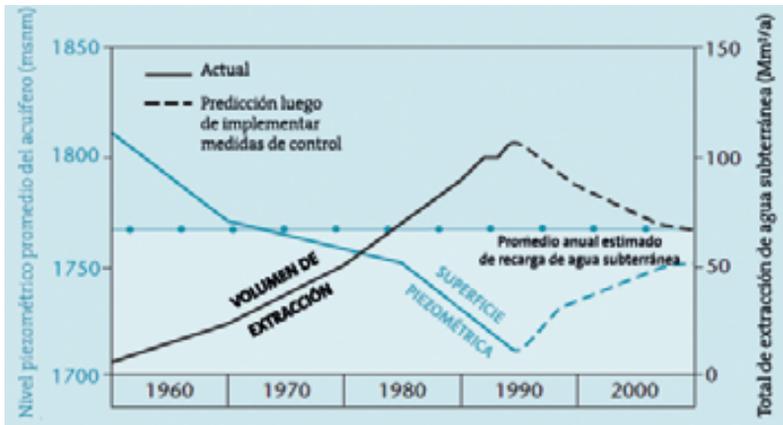
Por último, la demanda de agua de la ciudad supera la capacidad del acuífero con las siguientes consecuencias:

- ▶ Se requiere obtener agua de fuentes distantes, mediante acueductos u otros esquemas de abastecimiento con costos mayores.
- ▶ La contaminación de los pozos periurbanos incrementa los costos de la potabilización del agua extraída.
- ▶ El techo del acuífero sube y puede alcanzar el nivel de superficie produciendo anegamientos locales y afectando sótanos y otras construcciones subterráneas.
- ▶ Se complica el manejo de las redes cloacales y pluviales.

Existen numerosos ejemplos en el mundo que ilustran estos efectos. En la ciudad de Querétaro el abastecimiento se realizaba mediante 50 perforaciones que extraían 175 000 m³ por día. La sobreexplotación del acuífero, caso común con otras ciudades de México, determinó una depresión de más de 100 m del nivel piezométrico

y una tasa de descenso de nivel de 3,5 metros por año. Esta sobreexplotación dio lugar a deslizamientos subterráneos que tuvieron como consecuencia daños importantes en edificios e infraestructura enterrada (cloacas, caños maestros, etc.). A mediados de los 90 de puso en marcha un plan de manejo para estabilizar el acuífero de acuerdo con la tendencia que se muestra en la Figura 8.

Figura 8: Volumen de extracción del acuífero y evolución del nivel piezométrico en Querétaro



Nótese que el acuífero tiene una capacidad de recarga de aproximadamente 60 millones de m^3 por año, valor que fue superado por la extracción hacia 1983 aun cuando previamente se había detectado el severo descenso del nivel piezométrico.

Otro caso interesante es el de la ciudad de Londres en la que el acuífero alcanzó la situación ilustrada en la fase 3 de la evolución de un acuífero urbano y la consecuencia fue la elevación del nivel del acuífero como se muestra en la Figura 9.

La consecuencia de este aumento de nivel fue, por una parte, la amenaza de anegamiento en construcciones subterráneas profundas, como el sistema del Metro de Londres y el aumento de la velocidad de corrosión de estructuras metálicas debido al incremento de la conductividad del suelo.

Figura 9: Ascenso del nivel del acuífero luego de suspender su explotación con pozos locales



En ciudades costeras, los cambios en el nivel piezométrico pueden conducir a la salinización del agua por ingreso de agua de mar al acuífero, como se ha observado en ciudades como Barcelona, Liverpool, Manila o Bangkok. La puesta en servicio de tomas de agua en sitios distantes, recurso al que se acude cuando la calidad del agua local no es aceptable, permite la recuperación del nivel piezométrico. Pero en algunos casos, como en Nueva York en 1978, emergieron contaminantes que habían sido descargados mucho tiempo atrás.

Por último, en relación con el impacto de la urbanización sobre la calidad de agua, debe destacarse que **el factor más importante es la existencia de un buen sistema de conducción y tratamiento de líquidos cloacales**. Resulta crucial la existencia de un buen programa de inspección y mantenimiento de la red, ya que las pérdidas por fallas en las juntas o por rotura de caños permiten la difusión de esos líquidos, con alta carga microbiana hacia el acuífero y, por esa razón, en muchas ciudades el nivel freático se encuentra severamente contaminado. Por ejemplo, mediciones realizadas en la ciudad de Mérida, México, en un grupo de pozos de nivel freático mostraron concentraciones de coliformes fecales (FC) de hasta 2500 FC por 100 mililitros cuando el máximo tolerable es menos de 1 FC cada 100 mililitros. En consecuencia, la existencia y mantenimiento de un adecuado sistema de conducción de líquidos cloacales y su posterior tratamiento en una planta eficiente es un factor de máxima importancia.

3.3.- Impacto de las actividades agrícolas y ganaderas

3.3.1.- Introducción

La expansión de las superficies cultivadas, la introducción de fertilizantes y pesticidas y el desarrollo de nuevas tecnologías que se registró durante la segunda mitad del siglo XX permitieron multiplicar la oferta de alimentos. Como se señaló previamente, **las actividades agrícola-ganaderas son responsables de alrededor del 70% del consumo total de agua en el planeta.** Tomando en cuenta que el mal uso del agua en este sector puede impactar en tres aspectos: en los suelos, en el agua superficial (ríos y lagos) y en el agua subterránea, la FAO produjo, en 1993 (6) las siguientes recomendaciones a implementar en el área de calidad de agua para la agricultura:

- ▶ Establecer sistemas eficaces para el control de la calidad de agua empleada.
- ▶ Prevenir los efectos de las tareas agrícolas sobre la calidad del agua a ser utilizada en otras actividades y sobre los humedales, optimizando el uso de insumos autogenerados.
- ▶ Establecer criterios de calidad química, física y biológica de la calidad del agua a ser utilizada.
- ▶ Prevenir el lavado de suelos y la generación de sedimentos.
- ▶ Instalar sistemas adecuados para la conducción y tratamiento de las deyecciones humanas y animales en sistemas de producción ganadera intensiva.
- ▶ Minimizar el impacto de los agroquímicos mediante sistemas de gestión integrales.
- ▶ Educar a las comunidades rurales sobre el impacto de fertilizantes y pesticidas y respecto de las buenas prácticas de aplicación.

3.3.2.- Efectos sobre los suelos

El uso inadecuado del riego es una de las causas principales de deterioro de los suelos. En efecto, la irrigación por manto, que consiste en inundar la superficie, genera dos efectos perniciosos: la salinización y el empobrecimiento de los suelos. En los casos en que los suelos tienen pendientes muy bajas, como la permeabilidad del suelo tiene un límite, el agua de riego, que naturalmente contiene concentraciones del orden de los cientos de miligramos por litro de cloruro de sodio, permanece estancada durante tiempos significativos durante los cuales la evaporación natural aumenta la concentración de las sales, que finalmente se depositan en el suelo aumentando su salinidad. Otro mecanismo mediante el cual la irrigación en exceso puede generar salinización es por el elevamiento de la napa freática que contiene sales que se depositan luego por evaporación. La Tabla 7 muestra la gravedad del problema (7).

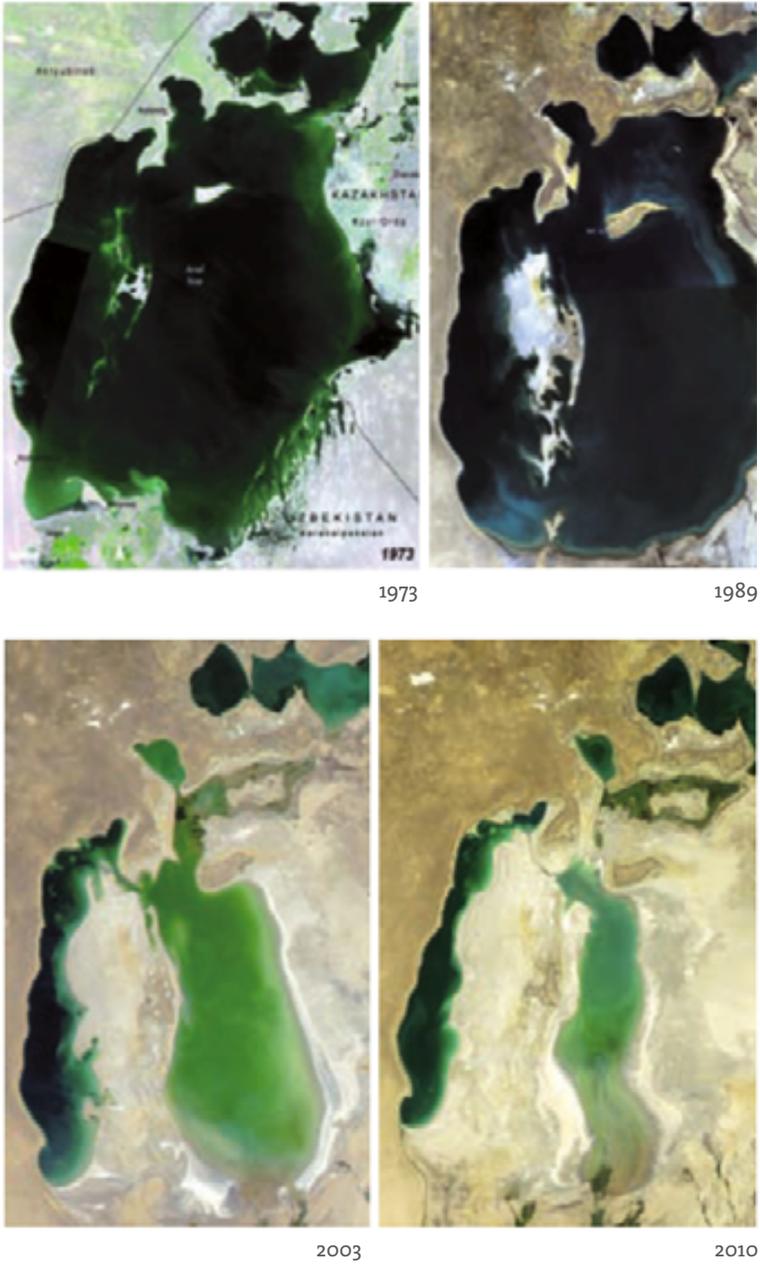
Tabla 7: Superficie afectada por salinidad en países seleccionados

País	Superficie irrigada		Superficie salinizada	
	Millones de Ha	Fracción (%) del área agrícola	Millones de Ha	Fracción (%) del área irrigada
China	44,8	46,2	6,7	15
India	42,1	24,9	7,0	17
EE UU	18,1	9,5	4,2	23
Pakistán	16,1	77,5	4,2	26
Irán	5,7	38,7	1,7	30
Egipto	2,7	100	0,9	33

Fuente: Ghassemi F, Jakeman A J, and Nix H A. (1995). Salinisation of land and water resources. Sydney: University of New South Wales Press Ltd.

El desastre del Mar de Aral es el caso más palpable de las consecuencias ambientales del mal manejo del agua. En la década del 40, la Unión Soviética comenzó a construir canales de riego a partir de los dos ríos principales de esa cuenca, el Amu Daria y el Sir Daria, para transformar la zona desértica en productora de algodón, cereales, arroz y frutas. El plan de irrigación se intensificó en la década del 60 y, debido al mal diseño constructivo de los canales, una buena parte del agua se perdió por infiltración y por evaporación. En la actualidad el Mar de Aral prácticamente ha desaparecido como lo muestran la Figura 10.

Figura 10: Evolución del espejo de agua del Mar de Aral (1973-2010)



Fuente: Observatorio de la NASA.

3.3.3.- Efectos sobre las aguas superficiales

Las malas prácticas en las actividades agrícolas tienen también consecuencias deletéreas para las aguas superficiales, que pueden ser causadas como resultado del vuelco de agroquímicos y, también, por técnicas inadecuadas de riego.

En efecto, la otra forma en que el riego excesivo afecta a los suelos es por el fenómeno de “**lavado**”. Esto ocurre en casos de riego por inundación en terrenos con pendiente en donde, al ser el suelo incapaz de absorber por infiltración los excedentes hídricos no capturados por las plantas, se produce su escurrimiento y se arrastran los sedimentos de grano más fino, fundamentalmente arcillas. Las arcillas poseen una gran actividad superficial por lo que adsorben tanto los nutrientes fosforados y nitrogenados, como las moléculas de agroquímicos, dejando las partículas más gruesas que son areniscas pobres en nutrientes depositadas. De esta forma, el suelo se erosiona, sobre todo en regiones áridas y semi áridas con alta actividad eólica, y los sedimentos se vuelcan a ríos y lagos. La Tabla 8 (5) muestra los niveles de pérdida de suelo debido al arrastre de sedimentos en varios países.

Tabla 8: Pérdida de suelo por lavado de sedimentos

País	Tipo de cultivo	Pérdida de suelo (t Ha/año)
Italia	Trigo	5,6
	Maíz	18,8
	Pastura	2,2
Filipinas	Reforestación y cultivos	22-39,7
Marruecos	Pasturas	25-59
Kenya	Pasturas	79,5
Bolivia	Agricultura	5,2-51,8
Reino Unido	Agricultura	1,9
Lesotho	Agricultura	7,8

Fuente: FAO (1996).

El vuelco de sedimentos a cursos de agua o lagos puede producir el fenómeno de **eutrofización** que ocurre como consecuencia del aumento de la concentración de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, que genera un crecimiento descontrolado de algas con el consiguiente consumo de oxígeno disuelto, lo que determina la mortandad de peces y otras especies que no pueden sobrevivir en esas condiciones. La Figura 13 muestra el caso de la Laguna de Alalay, en Bolivia (8).

Figura 13: Mortandad de peces en la Laguna de Alalay por eutrofización



La eutrofización puede producirse también cuando se aplica un exceso de **fertilizantes** que son luego descargados en las aguas superficiales. Al igual que en el caso de la eutrofización por sedimentos los efectos son notables en lagos y lagunas y, en general, mucho menores en ríos de buen caudal.

El efecto del mal uso de **pesticidas** en actividades agrícolas sobre aguas superficiales es, también, mucho más grave en el caso de lagos y lagunas, pero debido al efecto tóxico de estos compuestos, su vuelco a los ríos puede causar daños severos en zonas cercanas al punto de descarga de estos.

En este sentido, se debe señalar que la aplicación de pesticidas por pulverización, en particular cuando el procedimiento se utiliza sobre superficies grandes utilizando aviones, deja en el aire partículas del producto aplicado que son incorporadas al agua de lluvia, lo que implica que se encuentran cantidades medibles del plaguicida en sitios alejados de la zona de aplicación. Así, a partir de las mediciones de contenido de glifosato en agua de lluvia en

Estados Unidos, que determinaron que el agua de lluvia en los estados de Mississippi, Indiana y Iowa contiene entre 0,1 y 0,2 microgramos de glifosato por litro (9) se estima que, a lo largo de un año, en esos estados precipita entre 0,5 y 1 kilogramo de glifosato por hectárea, como se muestra en la Tabla 9.

En el caso de la Argentina se determinó la concentración de algunos herbicidas (glifosato y atrazina) en muestras de agua de lluvia recolectadas en núcleos urbanos de la zona pampeana en cuyos alrededores se aplican estos compuestos a los cultivos (10). Los resultados obtenidos muestran que más del 80% de las muestras contenían glifosato y más del 45% tenían niveles detectables de atrazina.

Tabla 9: Estimación de glifosato precipitado por agua de lluvia

Estado	Año	Glifosato en agua de lluvia ($\mu\text{g/L}$)	Precipitación anual (mm)	Glifosato precipitado (kg/Ha)
Mississippi	2007	0,20	443	0,89
	2008	0,15	445	0,66
Iowa	2007	0,20	545	1,09
	2008	0,10	540	0,55
Indiana	2004	0,14	661	0,93

El impacto de los insecticidas es mucho mayor que el de los herbicidas y fungicidas. En la Figura 14 (11) se comparan las dosis letales de cinco insecticidas: dos piretroides, cipermetrina (CIP) y lambda-cialotrina (LC); un organoclorado, endosulfán (END); un organofosforado, clorpirifós (CLO); un neonicotinoide, imidacloprid (IMD); dos fungicidas, epoxiconazol (EPO); tebuconazol (TEB) y dos herbicidas: atrazina (ATZ) y glifosato (GLI). Las dosis letales se ensayaron con alevinos de pejerrey y, como se ve de la figura, la toxicidad del glifosato es cien millones de veces menor que la de los insecticidas más potentes.

En un trabajo reciente (12) se han comunicado resultados sobre el contenido de pesticidas en los músculos de carpas que habitan distintas zonas de la región pampeana. La Tabla 10 resume esos datos.

Por su parte, la Tabla 11 (2,3) muestra el consumo de fertilizantes y pesticidas para un grupo representativo de países.

Figura 14: Comparación de la dosis letal de varios pesticidas empleados en Argentina

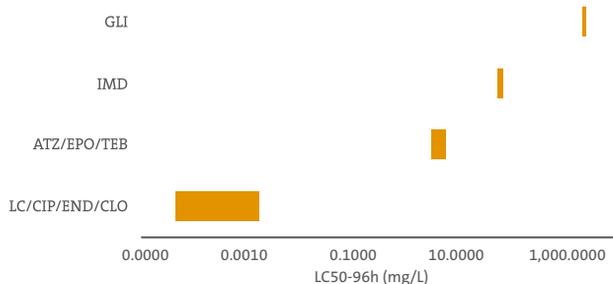


Tabla 10: Contenido en $\mu\text{g}/\text{kg}$ de pesticidas en carpas de distintas cuencas

Sustancia	Cuenca TE-CA ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Cuenca PE-AR ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Cuenca SB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Cuenca SA ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Insecticidas	60	210	40	15
Fungicidas	90	70	115	10
Herbicidas	600	1300	2300	350

Referencias: Cuenca TE-CA: Cuenca Río Tercero-Caracañá; Cuenca PE-AR: Cuenca Río Pergamino-Arrecifes; Cuenca SB: Cuenca Río Samboronbón; Cuenca SA: Cuenca Río Salado.

Fuente: The World Bank (2013).

Tabla 11: Consumo de fertilizantes y pesticidas en varios países

País	Fertilizantes (kg/Ha)	Plaguicidas (kg/Ha)	País	Fertilizantes (kg/Ha)	Plaguicidas (kg/Ha)
Alemania	197,2	2,74	España	144	2,30
Argelia	22,3	0,53	EEUU	138,6	2,50
Argentina	50,3	1,40	Francia	163,1	2,62
Bangladesh	289,4	1,74	Hungría	128,3	1,68
Bolivia	7,6	1,07	Japón	242,2	11,85
Chile	293,8	1,73	Malasia	1723	6,28
China	503,3	3,51	Países Bajos	288,9	5,80
Colombia	659,5	1,64	Portugal	199,4	3,48

3.3.4.- Efectos sobre las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son afectadas por las prácticas agrícolas en diversas formas. La primera de ellas, discutida en el apartado anterior, es la salinización. Los restantes impactos se derivan de tres factores:

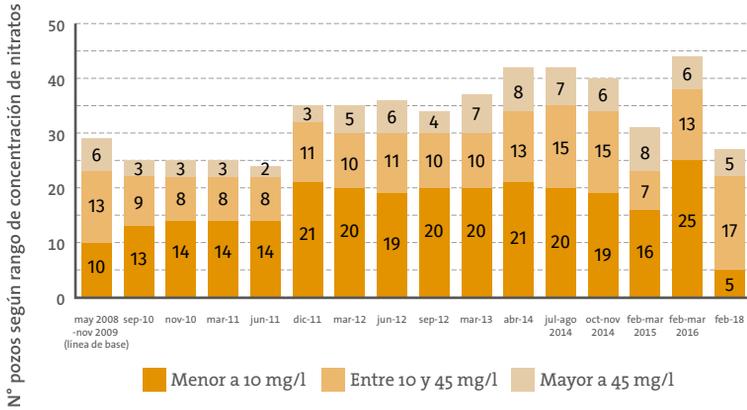
- ▶ El uso de fertilizantes.
- ▶ La aplicación de plaguicidas.
- ▶ La contaminación debida a deyecciones.

El uso de fertilizantes se justifica por el aporte de nutrientes que brindan. Los nutrientes más importantes son fósforo, nitrógeno y potasio. El fósforo se administra bajo la forma de fosfatos que, en caso de exceso, son en su mayoría adsorbidos por las arcillas del suelo por lo que no constituyen normalmente un factor de riesgo. Por su parte, el potasio se agrega bajo la forma de cloruro, pero la concentración es baja y su mayor impacto es por la posibilidad de alcanzar concentraciones de cloruro demasiado altas cuando se trata de suelos que ya tienen un contenido salino importante. El caso del nitrógeno, en cambio, debe atenderse con más cuidado por las implicancias de sus derivados sobre la salud.

La administración de nitrógeno como fertilizante se realiza habitualmente utilizando urea que, al descomponerse por las bacterias del suelo, libera nitrógeno en forma asimilable por las plantas. Además, este proceso produce otros compuestos de nitrógeno en menores concentraciones, entre ellos, nitratos que pueden disolverse fácilmente en el agua e incorporarse al acuífero. Las altas concentraciones de nitrato tienen efectos perniciosos sobre la salud, ya que pueden afectar la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno a los tejidos, una patología conocida como *metahemoglobinemia*. Por esa razón, la OMS ha fijado como límite para la concentración de nitratos en agua para consumo humano el valor de 50 mg/l.

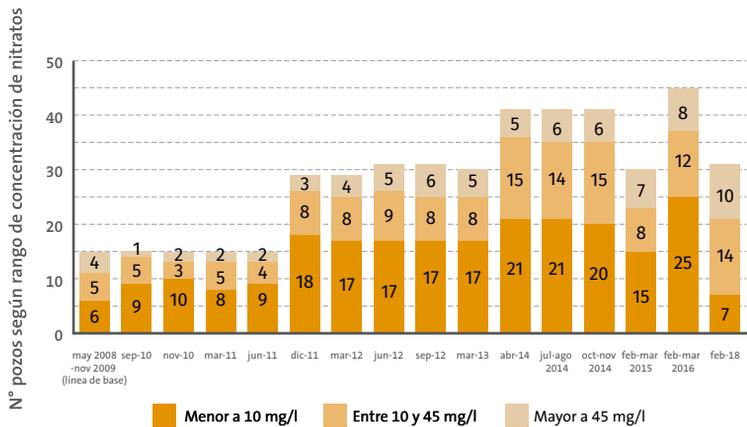
Las aguas naturales contienen nitratos, generalmente en concentraciones bajas. Por ejemplo, en los estudios llevados a cabo por la ACUMAR (13) sobre numerosos pozos perforados en el área de la Cuenca Matanza Riachuelo los casos en que tanto el acuífero Freático (Figura 15) como el Puelche (Figura 16) superan los 45

Figura 15: Evolución de la concentración de nitratos en las aguas del acuífero freático en la Cuenca Matanza Riachuelo



Fuente: ACUMAR (2018). Coordinación de Calidad Ambiental.

Figura 16: Evolución de la concentración de nitratos en las aguas del acuífero Puelche en la Cuenca Matanza Riachuelo



Fuente: ACUMAR (2018). Coordinación de Calidad Ambiental.

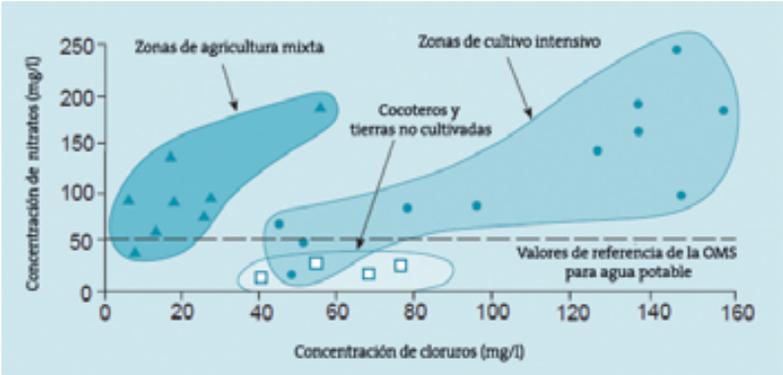
mg/l son minoritarios y en ningún caso llegan a los 75 mg/l. En cambio, en áreas donde se aplican fertilizantes con intensidad, la concentración de nitratos es mucho mayor, como se ve en el caso de plantaciones en Sri Lanka (Figura 17) (14).

El uso incorrecto de plaguicidas es otra amenaza para la calidad de las aguas subterráneas. La sobreaplicación y las consecuencias de malas prácticas de manejo y almacenamiento han producido con frecuencia incidentes serios que no siempre están bien documentados.

El impacto de los plaguicidas sobre las aguas subterráneas muestra en general una caída de la concentración con el tiempo y un carácter claramente estacional debido a que la aplicación de estos productos se corresponde con distintas etapas del avance de los cultivos. Así, en el caso de una aplicación intensa de carbofurano (6 kg/Ha) en cultivos de Sri Lanka (14) el agua subterránea mostró un máximo de concentración de 60 µg/l a los siete días, con un descenso a 20 µg/l a los 17 días. La concentración disminuyó a 8 µg/l el día 24 y se dejó de detectar carbofurano a partir del día 45. De todas formas, la descomposición de estas moléculas genera metabolitos cuya concentración dejó de detectarse a los 60 días.

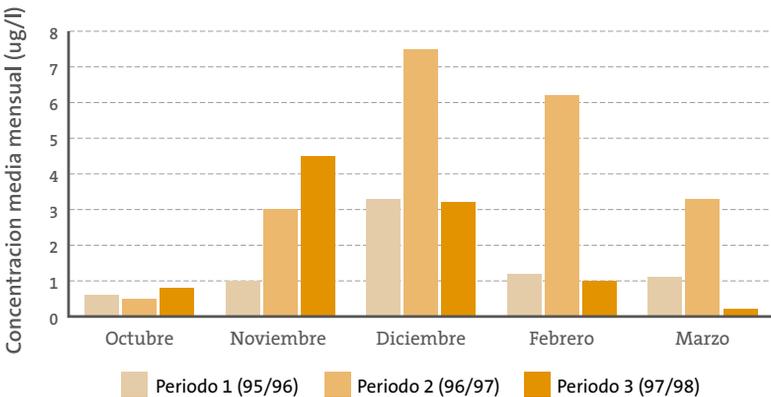
En la Argentina, un estudio llevado a cabo sobre la napa freática en localidades de la cuenca del Río Neuquén (15) mostró resultados cualitativamente similares como se muestra en la Figura 18.

Figura 17: Concentración de nitratos según el uso de la tierra en Sri Lanka



Fuente: Mubarak A. M., Gunawardhana H. P. G., et.al. (1992). Impact of agriculture on groundwater quality. En *British Geological Survey Technical Report, WD/92/49*.

Figura 18: Concentración media mensual de metil azinfos en aguas subterráneas de Colonia Centenario



3.4.- Impacto de la industria

La mayoría de las industrias no extractivas generan residuos contaminantes. Estos residuos cubren una amplia gama de sustancias que van desde los residuos orgánicos que producen molinos, mataderos, frigoríficos, fábricas de chacinados, fábricas de alimentos, etc. a sustancias químicas de la más diversa naturaleza. Las Tablas 12 y 13 muestran una serie de posibles contaminantes asociados con diversas industrias manufactureras (16) y su importancia relativa (17).

Por su parte, las industrias extractivas, esencialmente la producción petrolera y minera, tienen impactos potenciales, como se muestra en la Tabla 14 (18,19).

En cuanto a la gravedad del impacto ambiental de las actividades industriales, la UNCTAD ha señalado que la extracción de petróleo y la industria textil son las dos actividades industriales más contaminantes, y al respecto pueden mencionarse algunos datos.

Tabla 12: Impacto de los contaminantes originados en distintas industrias

Industria o actividad	P	M. P.	As	M. O.	H. C.	O. S.	S. C.
Alimentos y bebidas	3	1	3	3	1	2	1
Textiles y curtiembres	1	2	3	3	2	3	3
Agroquímicos	2	3	1	1	2	3	1
Papel, imprenta, madera	1	2	1	2	3	3	1
Plásticos y productos químicos	1	3	3	3	3	3	3
Metalurgia básica	1	3	2	1	3	1	1
Procesamiento de metales	1	3	2	1	3	1	3
Otras industrias, incluida electrónica	1	2	1	2	3	2	3
Salud	3	1	3	3	2	2	1

Referencias: P: patógenos; M. P.: metales pesados; As.: arsénico; M. O.: materia orgánica; H. C.: hidrocarburos, aromáticos y fenoles; O. S.: orgánicos sintéticos, incluyendo biocidas; S. C.: solventes clorados. 1) Importancia menor; 2) Importancia grave; 3) Importancia muy grave.

Tabla 13: Principales contaminantes potenciales de distintas ramas industriales

Tipo de industria o proceso	Principales contaminantes potenciales
Adhesivos	Acrilatos, aluminio, solventes clorados, formaldehído, isocianatos, naftaleno, fenoles, ftalatos, tolueno.
Alimentos y bebidas	Cloro, dióxido de cloro, nitrato, nitritos, pesticidas, aminas biogénicas, metano, dioxinas, materia orgánica general.
Componentes eléctricos	Aluminio, ácidos, arsénico, berilio, cadmio, solventes clorados, cáusticos, cianuros, plomo, mercurio, níquel, germanio, selenio.
Explosivos	Acetato de etilo, metanol, nitrobenzeno, nitroglicerina, nitrotoluenos, PETN, tetraceno, tetraol.
Fertilizantes	Amoníaco, arsénico, plomo, fosfatos, nitratos, sulfuros.
Laboratorios farmacéuticos	Alcoholes, benzoatos, bismuto, colorantes glicoles, mercurio, sulfuros, solventes clorados, nitrilos, fenoles, hidrocarburos aromáticos.
Lavanderías y tintorerías	Hipocloritos, dicloroetileno, percloroetileno, tricloroetileno, cloruro de vinilo.
Metalúrgicas	Arsénico, ácidos, berilio, cadmio, solventes clorados, cromo, plomo, mercurio, aceites minerales, níquel, azufre, sulfuros, cianuros.
Papeleras	Acrilatos, solventes clorados, dioxinas, mercurio, fenoles, estireno, sulfuros, óxidos de azufre.
Pesticidas	Arsénico, carbamatos, insecticidas clorados, cianuros, etilbenzeno, plomo, naftaleno, fosforados, fenoles, ftalatos, tolueno, xileno.
Pinturas y barnices	Acetatos, acrilatos, alcoholes, aluminio, cadmio, solventes clorados, cromo, cianuros, éteres, cetonas, plomo, mercurio, níquel, ftalatos, estireno, tolueno.
Plásticos	Acilonitrilo, antimonio, benceno, butadieno, cadmio, cloroformo, cromo, dicloroetileno, plomo, fenoles, ftalatos, estireno, sulfuros, cloruro de vinilo.
Refinerías de petróleo	Alcanos, alquenos, benceno, etilbenzeno, níquel, cromo, hidrocarburos poliaromáticos, tioles, mercaptanos, sulfuros, tolueno, xileno.
Textiles	Acetona, ácido acético, acrilatos, amoníaco, solventes clorados, cobre, formaldehído, naftaleno, níquel, ftalatos, colorantes.
Tintas y colorantes	Acrilatos, amoníaco, antraquinona, arsénico, bencidina, cadmio, solventes clorados, cromo, ésteres, hexano, fenoles, níquel, ftalatos, oxálico, tolueno.

Tabla 14: Impactos potenciales de las industrias extractivas

Industria	Actividad	Impactos potenciales	Consecuencias
Extracción de petróleo	Extracción de crudo	Derrames	Contaminación severa de suelos y aguas superficiales y subterráneas
	Transporte de crudo	Derrames	Contaminación severa de suelos y aguas superficiales y subterráneas
	Perforación	Afectación de acuíferos por fracturas	Drenaje de agua y mezcla con otros acuíferos
	Acumulación en tanques	Derrames	Contaminación severa de suelos y aguas superficiales y subterráneas
Minería	Lixiviación <i>in situ</i>	Derrames	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas
	Excavaciones	Afectación de acuíferos por fracturas	Drenaje de agua y mezcla con otros acuíferos
	Diques de colas	Derrames	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas
	Escombreras	Lixiviación de metales	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

En lo que se refiere a la industria de extracción de petróleo se pueden señalar, entre varios, tres ejemplos de casos muy graves:

- ▶ El derrame producido durante más de dos décadas por Shell en Ogoniland, Nigeria, donde se volcaron enormes cantidades de petróleo, lo que afectó severamente la región, como se muestra en la Figura 19. Más de 1000 km² están severamente contaminados y se contaminaron gravemente las aguas superficiales y subterráneas (20).
- ▶ La explosión de la plataforma de British Petroleum que produjo el derrame de cientos de miles de toneladas de crudo en el Golfo de México.
- ▶ La cantidad indeterminada pero de más de 500 000 toneladas de crudo derramadas durante la Guerra del Golfo.

En cuanto a la industria textil se pueden mencionar también casos graves:

- ▶ La emisión descontrolada de efluentes por las curtiembres y fábricas textiles de Haridwar en la India ha contaminado severamente con metales pesados la napa de agua. Las concentraciones de cromo, plomo, cadmio, entre otros, exceden largamente los límites fijados por la OMS (21) y producen efectos severos sobre las poblaciones expuestas, como lo muestra el caso que se ilustra en la Figura 20.
- ▶ Tamilnadu es una ciudad en la India en la que 729 unidades de tintura de textiles arrojan diariamente 90 000 m³ de efluentes pobremente tratados al río Noyyal o directamente al suelo (22).

El resto de las actividades industriales, si bien tienen diferentes tipos de impacto, en ningún caso llegan a las dramáticas consecuencias que derivan de los derrames de petróleo o de la actividad textil. Una de las razones por las que estas industrias tienen tan severas consecuencias es porque **es difícil, en ambos casos, circunscribir espacialmente en forma eficaz el origen de la contaminación**: en el caso de los derrames petroleros por la amplitud física del área cubierta, y en el caso de la industria textil porque se produce en países donde operan en forma independiente un gran número de unidades productivas, lo que hace muy complejo el control de los efluentes y de las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo los procesos.

Figura 19: Contaminación de aguas superficiales por el derrame de Ogoniland



En este sentido los derrames petroleros y la contaminación de la industria textil, especialmente en la India y el sudeste asiático, se asemejan a la contaminación debida a actividades agrícolas en las cuales el origen de los contaminantes está ampliamente distribuido y, más aún, su transporte por el agua de lluvia hace prácticamente imposible centralizar su tratamiento.

Por último, deben mencionarse los riesgos asociados con la industria química que, en razón de operar en muchos casos con sustancias que, además de ser altamente tóxicas, no son biodegradables, pueden producir daños terribles por acumulación. En el caso de efluentes con mercurio y con cromo existen antecedentes particularmente graves como lo son la intoxicación masiva por mercurio producida en poblaciones de pescadores de la Bahía de Minamata, en Japón. Allí, el complejo de plantas químicas de la Chisso Corporation descargó durante años efluentes que contenían bajas concentraciones de metil mercurio. El mercurio se fue acumulando a lo largo del tiempo en peces y mariscos de la Bahía y la población que los consumía desarrolló una patología neurodegenerativa que fue identificada como la enfermedad de Minamata, con consecuencias terribles para más de 10 000 personas. La fotografía de la Figura 21 muestra una de las víctimas de este desastre ambiental y la 22 los efectos de la enfermedad sobre el cerebro.

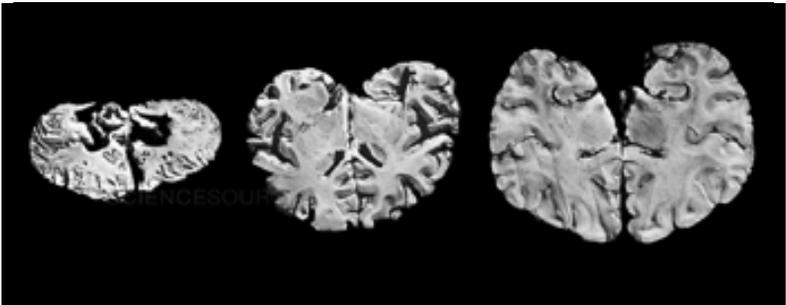
Figura 20: Efectos de cromo hexavalente en efluentes de la industria textil y del cuero



Figura 21: Efectos de la contaminación por mercurio



Figura 22: Muestras de tejido cerebral de pacientes con la enfermedad de Minamata



Nota: La muestra de la izquierda corresponde a un niño de siete años que murió tras cuatro años de exposición, la del medio corresponde a un niño de ocho años que murió tras 2.75 años de exposición, y la muestra de la derecha corresponde a un hombre saludable de treinta años.

Fuente: Science Source, recuperado de <https://www.scielosp.org/article/spm/2014.v56n1/79-92/>.





CAPÍTULO 4

CAMBIO CLIMÁTICO

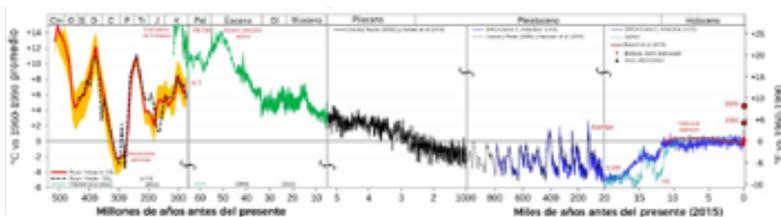
4.1.- Evolución histórica de la temperatura de la Tierra

El clima en la Tierra no se encuentra, ni lo ha estado nunca, en situación de equilibrio. En efecto, dado un sistema cualquiera, en nuestro caso el planeta que habitamos, la termodinámica define el estado de equilibrio como aquel en el cual ninguna de sus propiedades sufre cambios con el tiempo. Claramente, el hecho de que exista vida es una evidencia de que la Tierra no está en equilibrio. La cuestión pasa, entonces, por un problema de percepción: si el período de tiempo a lo largo del cual observamos un sistema es corto en relación con la velocidad con la que se producen los cambios tenemos la *sensación* de que esos cambios no se producen y, en consecuencia, *percibimos* al sistema como en equilibrio cuando, en realidad, se encuentra en un estado *aproximadamente* invariante.

Así, si tomamos en cuenta que la historia geológica de la Tierra recorre miles de millones de años, que la presencia del *homo sapiens* se remonta a apenas cuarenta mil o cincuenta mil años y que un ser humano vive normalmente durante menos de cien años, no es sorprendente que el hombre crea que el clima está, o al menos puede estar, en equilibrio cuando, en realidad, lo que percibe son estados de cuasi equilibrio, también conocidos como **estados estacionarios**.

En este sentido, es pertinente considerar la evolución de la temperatura promedio del planeta que, tomando como valor cero el promedio observado entre 1960 y 1990, muestra la evolución que se grafica en la Figura 1.

Figura 1: Evolución de la temperatura media del planeta a lo largo de los últimos 500 millones de años



En este gráfico los datos de temperatura para el paleozoico y el mesozoico fueron estimados por Royer (1), Veizer et al. (2) y Friedrich et al. (3) desde el período Cámbrico hasta el Cretácico. Como se ve, los valores de temperatura propuestos muestran que, desde alrededor de 500 millones de años antes del presente hasta hace 100 millones de años las temperaturas fueron hasta más de 10 grados superiores al valor de referencia, excepto durante unos veinte mil años, en la transición del período Carbonífero al Pérmico, donde se produjeron glaciaciones. Durante el Cenozoico los trabajos de Zachos et al. (4) y Hansen et al. (5) indican que la tendencia iniciada en el Paleoceno fue de descenso de la temperatura, si bien durante el fin del Paleoceno y el Eoceno temprano se verificó una reversión reflejada en un máximo de alrededor de 14°. A partir de ese máximo el descenso es sostenido, alcanzando un valor relativamente estable de 5° por encima de la referencia en el Oligoceno y de 3° al fin del Mioceno.

Durante el Plioceno y el Pleistoceno el descenso de temperatura media se mantuvo desde unos dos millones de años antes del presente hasta unos 20.000 años antes del presente, cuando se alcanzó una temperatura media de 6 grados por debajo de la referencia (5-7). A partir de ese mínimo la temperatura ascendió marcadamente durante 10.000 años para alcanzar valores aproximadamente estacionarios desde entonces (7-9).

4.2.- Factores que afectan la temperatura de la Tierra

Las modificaciones que se producen a lo largo del tiempo en la temperatura media de nuestro planeta pueden ocurrir como consecuencia de variaciones en la intensidad de radiación solar recibida o por cambios en la composición química de la atmósfera que afectan la capacidad de retener la energía recibida por la radiación solar.

4.2.1.- Variaciones en la intensidad de radiación solar

La intensidad de radiación solar recibida puede variar por tres causas principales: modificaciones en la órbita de la Tierra, tormentas solares o aparición de manchas solares.

Las modificaciones en la órbita terrestre que afectan la cantidad de radiación solar que impacta sobre la Tierra se deben a tres causas descritas con precisión por primera vez por el astrónomo serbio Milutin Milanković quien, en 1920, determinó la existencia de variaciones periódicas de la órbita de la Tierra variaciones que, desde entonces, se conocen como ciclos de Milanković. En 1941 el propio Milanković demostró la existencia de una correlación entre los ciclos de avance y retroceso de los glaciares en el Pleistoceno con la frecuencia de las variaciones orbitales del planeta.

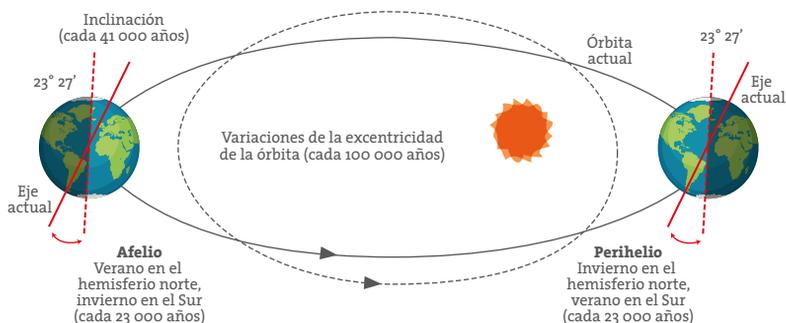
Como se muestra en la Figura 2, las modificaciones orbitales significativas son tres: las variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre, la modificación de la inclinación del ángulo del eje de rotación de la Tierra con la perpendicular al plano de la eclíptica y la precesión del eje de rotación.

Las variaciones de la excentricidad, que toman en cuenta la variación de la distancia mínima al Sol, son ciclos que tienen un período de alrededor de 100 000 años. Estas variaciones en la distancia mínima pueden representar hasta un 11% de variación en la cantidad de energía recibida en un año. Por su parte, el ángulo del eje de rotación de la Tierra varía entre un mínimo de 21.6 ° y un máximo de 24.5° con un período de aproximadamente 41.000 años. Cuanto mayor es el ángulo de inclinación mayor es la ampli-

tud térmica estacional, lo que se refleja en que en cada hemisferio aumenta la radiación recibida en verano y disminuye en invierno. Este fenómeno es más importante cuanto mayor es la latitud y es prácticamente nulo en el ecuador. Finalmente, la precesión del eje de rotación medida respecto de las estrellas fijas tiene un período cercano a los 23 000 años y su impacto sobre la temperatura es menor al de los dos fenómenos anteriores.

Por su parte, los efectos de **manchas y tormentas solares** no son fácilmente predecibles y sus consecuencias son de corto plazo en la escala de tiempos geológicos.

Figura 2: Esquema de los ciclos periódicos de Milanković



4.2.2.- Variaciones en la composición de la atmósfera

La naturaleza y la concentración de las especies químicas presentes en la atmósfera pueden afectar, de distinta forma y con variada intensidad, el equilibrio térmico del planeta. Del mismo modo, la presencia de material particulado en cantidades significativas genera un efecto de reflexión de la luz solar que disminuye la intensidad de la radiación incidente.

La composición química de la atmósfera ha presentado variaciones importantes a lo largo de la historia y los efectos de esas variaciones están ligados a la capacidad que tengan las moléculas de las especies presentes de absorber parte de la energía incidente en la radiación solar y cederla como energía térmica a la atmósfera.

El mecanismo por el cual se produce este fenómeno conocido como **efecto invernadero** se basa en el hecho de que, en su estado normal, los átomos de las moléculas están vibrando con una frecuencia que corresponde al estado fundamental de la molécula, que es el de mínima energía de oscilación. La luz solar incidente tiene un espectro de frecuencias continuo que incluye fotones con la energía necesaria para que la molécula absorba esa energía pasando a un estado de vibración de mayor frecuencia del cual regresa al estado fundamental transfiriendo la energía absorbida como energía térmica a la atmósfera.

Históricamente, los gases de efecto invernadero (GEI) generados por procesos naturales son, además del CO_2 , el metano (CH_4) y el óxido de nitrógeno (N_2O). El impacto de una molécula de metano es 21 veces mayor que el de una molécula de CO_2 y el del N_2O es 310 veces mayor sin embargo, la concentración de CO_2 en la atmósfera es mucho más alta que la de metano o N_2O y, por lo tanto, es el principal responsable del efecto invernadero.

Principales consecuencias de una erupción

El otro factor importante que afecta la composición de la atmósfera es la actividad volcánica. Durante estos eventos se lanzan toneladas de material particulado, grandes cantidades de óxidos de azufre y ácido clorhídrico. La consecuencia principal de una erupción es el aumento de la radiación solar reflejada por las partículas de ceniza y por los productos de reacción del óxido de azufre lo que reduce el ingreso de energía solar y lleva a un enfriamiento global. La Figura 3 muestra, esquemáticamente, las principales consecuencias de una erupción.

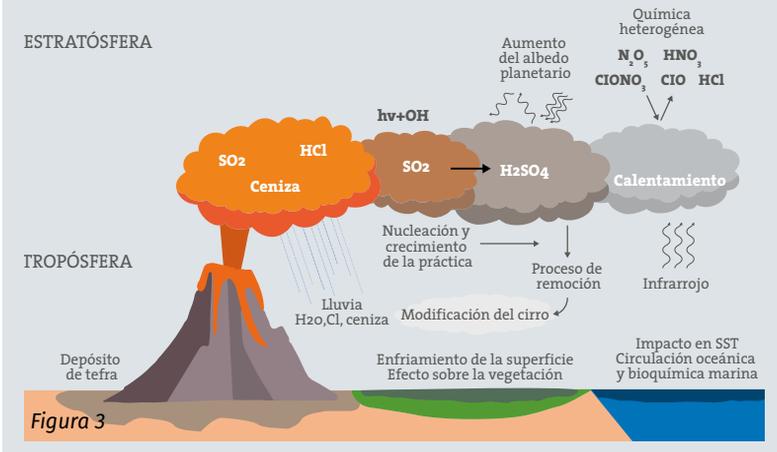
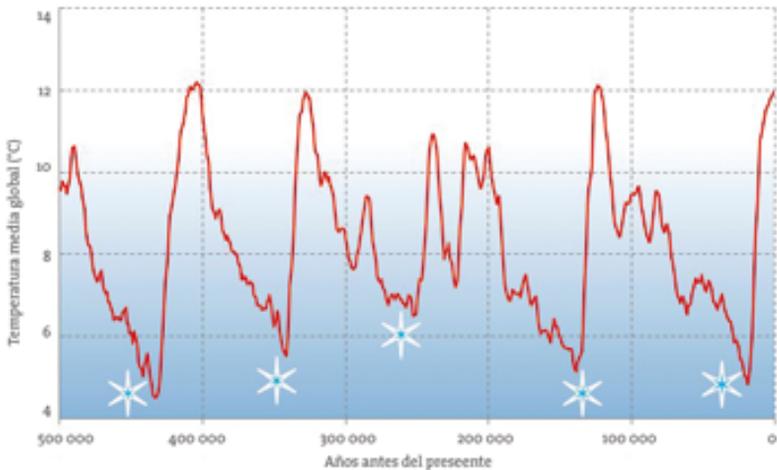


Figura 3

4.3.- Las glaciaciones y el cambio climático

Como surge de los datos representados en la Figura 1, durante el Pleistoceno la temperatura media del planeta muestra un comportamiento oscilante con intervalos entre máximos del orden de los 70 000 a 100 000 años. Estas oscilaciones en el valor medio de la temperatura están obviamente relacionadas con el ritmo con que avanzan y retroceden las grandes masas de hielo en la Tierra y, de hecho, como muestra la Figura 4, las fechas definidas como de inicio de grandes glaciaciones están estrechamente relacionadas con los mínimos de temperatura observados (10).

Figura 4: Evolución de la temperatura media del planeta y fecha de inicio de grandes glaciaciones



Fuente: Earle, S. Physical Geology. Recuperado de <https://opentextbc.ca/geology/>.

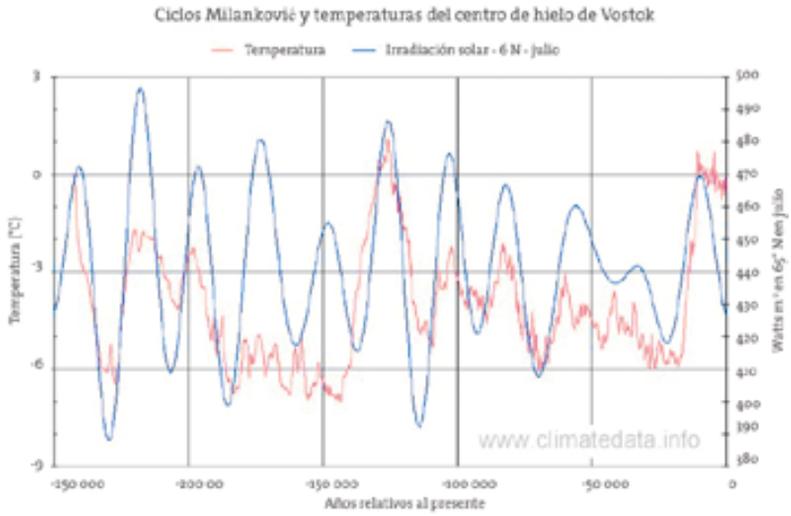
Estos datos han sido interpretados por algunos científicos como debidos al efecto que los ciclos de Milanković tienen sobre la radiación solar incidente. En la Figura 5 se superponen los datos de temperatura media con la irradiación solar, calculada a partir de datos astronómicos para el verano boreal, durante los últimos 250 000 años. Por otra parte, si se representan los datos

de temperatura conjuntamente con los de concentración de CO_2 en la atmósfera se obtiene el gráfico que se puede observar en la Figura 6.

Un análisis de ambos gráficos muestra que la correlación de la temperatura con los ciclos de Milanković es mucho menos precisa que la que existe con la concentración de CO_2 , e incluso en ocasiones es divergente, como en el caso de los máximos de radiación en *ca.* -175 000 y en -150 000 a.C., que no se corresponden con máximos de temperatura, lo que sugiere que los efectos de la composición atmosférica prevalecen sobre los debidos a las modificaciones en la órbita de la Tierra.

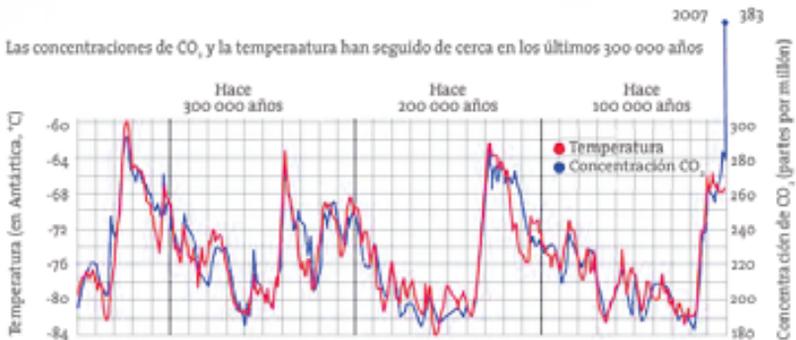
Esta conclusión se ve reforzada si se considera el caso de la así llamada “Pequeña Edad de Hielo”. Con este nombre se describe el fenómeno de descenso de la temperatura media del planeta que se produjo entre el siglo XIV y fines del siglo XIX, y que fue desencadenado como consecuencia de una serie de cuatro erupciones volcánicas que se desarrollaron durante unos cincuenta años (12).

Figura 5: Variación de la temperatura y de la radiación solar calculada en los últimos 250 000 años



Fuente: Climate Data Information. Milankovitch Cycles.
 Recuperado de www.climatedata.info/forcing/milankovitch-cycles.

Figura 6: Variación de la temperatura y de la concentración de CO₂ atmosférico en los últimos 350 000 años



4.4.- Factores antrópicos en el proceso de cambio climático

Como hemos discutido en el apartado precedente, la composición de la atmósfera es el factor principal vinculado al cambio climático. Por lo tanto, la presencia en la misma de GEI, es decir, de especies químicas capaces de absorber y retener energía proveniente de la radiación solar, es un dato a considerar seriamente. La concentración de estas especies fue, hasta principios del siglo XIX, prácticamente independiente de la actividad humana pero, a partir de la invención de la máquina a vapor, el ser humano descubrió que el esfuerzo físico podía ser reemplazado por energía generada quemando combustibles fósiles: carbón, gas y derivados del petróleo. Como consecuencia, el consumo de energía per cápita se incrementó 7,5 veces en el período 1850–2000 y, dado que más del 80% de esa energía se produce por combustión de fósiles, el impacto de la actividad humana ha dejado de ser irrelevante.

Los principales GEI generados por la combustión y su potencial de impacto se detallan en la Tabla 1 (13):

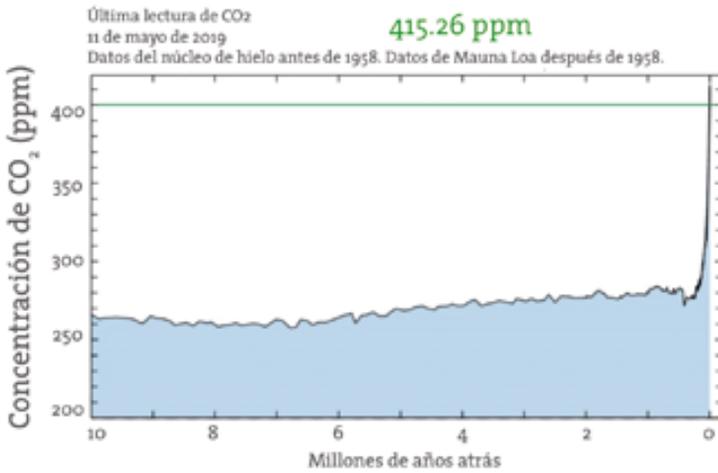
Tabla 1: Impacto de los principales GEI

GAS	Impacto
CO ₂ (dióxido de carbono)	1
CH ₄ (metano)	21
N ₂ O (óxido nitroso)	310

Fuente: Tercera Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático". 2015.

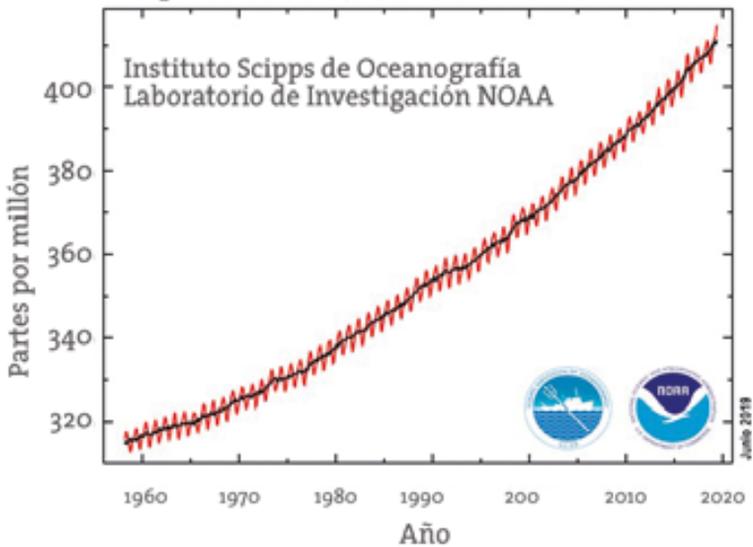
Las Figuras 7 a 10 muestran detalles de la evolución de la concentración de esos gases en la atmósfera. En los tres casos es claro que las concentraciones han alcanzado valores muy superiores a los máximos históricos previos a la Revolución Industrial, sobre todo en los casos del CO₂ y el CH₄. Si tomamos en cuenta que la concentración de CO₂ está medida en partes por millón (ppm) en tanto que para los otros dos gases las unidades son partes por billón (ppb) podemos cuantificar, con los datos de la Tabla 1, que el impacto actual de cada uno de estos gases en unidades de CO₂ resulta 415 ppm para el CO₂, 38 ppm para el CH₄ y 102 ppm para el N₂O. Es claro, entonces, que **el CO₂ es el GEI más importante y sobre cuyo control es más urgente trabajar.**

Figura 7: Evolución de la concentración de CO₂ en la atmósfera



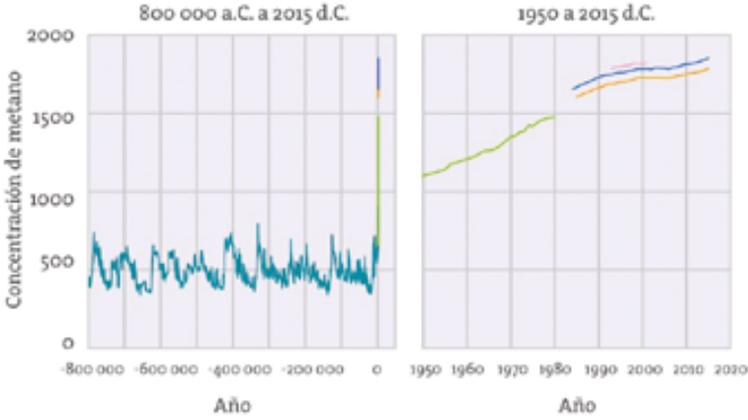
Fuente: Datos publicados por la Scripps Institution of Oceanography at the University of California in San Diego. Recuperado de: scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/.

Figura 8: Concentración de CO₂ en la atmósfera (1959 – 2019)



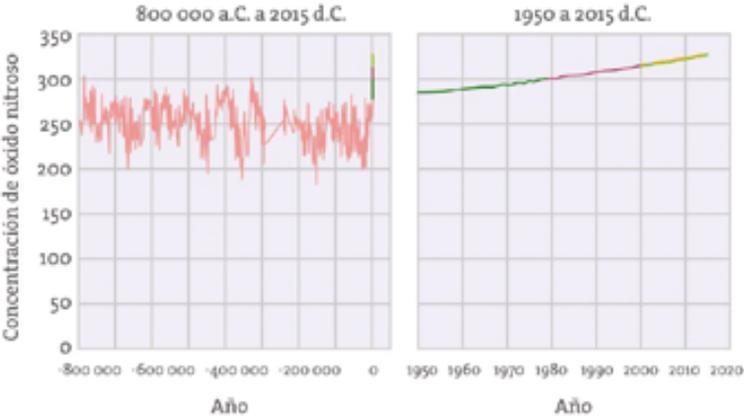
Fuente: Datos publicados por la Scripps Institution of Oceanography at the University of California in San Diego. Recuperado de: scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/.

Figura 9: Evolución de la concentración de CH₄ en la atmósfera



Fuente: U.S. Environmental Protection Agency. Recuperado de epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases.

Figura 10: Evolución de la concentración de N₂O en la atmósfera



Fuente: U.S. Environmental Protection Agency. Recuperado de epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases.

4.5.- Impacto del cambio climático sobre el mar y los recursos hídricos

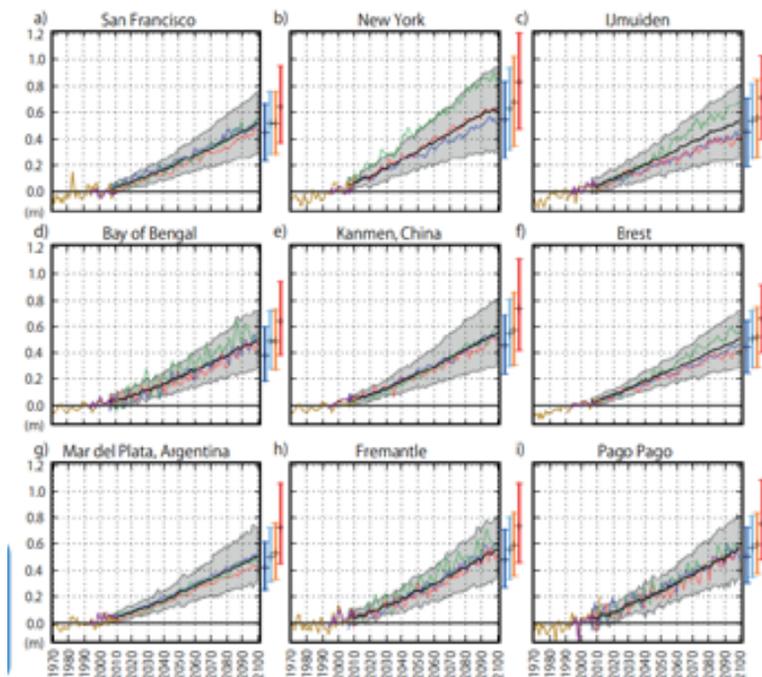
El principio de Le Châtelier establece que todo sistema termodinámico que recibe una perturbación reacciona a la misma ajustando sus variables de modo de contrarrestar la perturbación recibida. Considerando la Tierra como un sistema termodinámico, y analizando la Figura 6 a la luz del principio de Le Châtelier, se puede concluir que la perturbación debida al incremento de concentración de CO_2 genera, como reacción, un descenso de la temperatura.

Históricamente la concentración de CO_2 durante el último millón de años pasó por mínimos de 180–200 ppm y máximos de 270–290 ppm. Por otra parte, los tiempos transcurridos entre máximos y mínimos han estado siempre en el orden de las decenas de miles de años. La situación actual es absolutamente novedosa ya que, cuando la concentración de CO_2 parecía llegar a un máximo de 280 ppm se desencadenó la utilización masiva de combustibles fósiles y la concentración de CO_2 crece desde entonces a una velocidad que, considerada en tiempos geológicos, es enorme.

La respuesta del planeta va a ser, consecuentemente, inusualmente rápida y, en una primera etapa estará dada por un aumento de la temperatura que se producirá a una velocidad sin antecedentes. En esta primera etapa las consecuencias primarias serán la fusión de enormes masas de hielo y el aumento de la cantidad de vapor de agua en la atmósfera. Hasta el momento, el aumento de temperatura respecto de los niveles pre-industriales es de algo más de 1°C . Si el aumento de temperatura llega a 1.5°C en las próximas dos décadas y continúa creciendo a esa velocidad las predicciones del Panel de Expertos de Naciones Unidas basadas en modelos climáticos indica que el nivel del mar aumentará, con diferencias locales en la forma en que se muestra en la Figura 11 (16).

Como se ve de este gráfico, el aumento del nivel del mar para 2050 rondará, de acuerdo con los modelos utilizados los 20–30 cm según la región. Si no se logra limitar el incremento de temperatura y el mismo alcanza los 2°C las consecuencias serán graves y la predicción de los modelos indica que amplias zonas costeras desaparecerán bajo el mar.

Figura 11: Aumento del nivel del mar en distintos sitios bajo la hipótesis de un aumento de temperatura de 1.5 °C respecto del nivel pre-industrial en las próximas dos décadas



El cambio climático afectará también la dinámica local del ciclo del agua en distintas regiones. En este aspecto las proyecciones realizadas para la República Argentina (13) indican, a grandes rasgos, las siguientes tendencias:

- ▶ En la mayor parte de la Argentina no patagónica hubo un aumento de temperatura de hasta medio grado entre 1960 y 2010, con menores aumentos en el centro del país.
- ▶ La temperatura mínima tuvo mayores aumentos que la temperatura máxima, la que incluso tuvo disminuciones generalizadas en el centro del país.
- ▶ En la Patagonia el aumento de temperatura fue mayor que en el resto del país, llegando en algunas zonas a superar 1 °C. Los cambios en el este y norte del país en

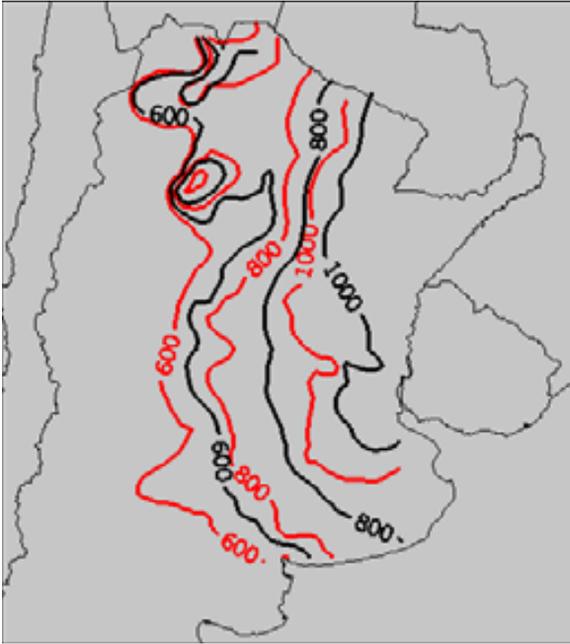
los índices relacionados con las temperaturas extremas, como menos heladas y más frecuentes olas de calor fueron consistentes con el calentamiento observado.

- ▶ Entre 1960 y 2010, la precipitación media aumentó en casi todo el país, aunque con variaciones interanuales e interdecadales.
- ▶ Los mayores cambios se registraron en el este del país con incrementos de más de 200 mm en algunas zonas, pero los aumentos porcentuales fueron más importantes en algunas zonas semiáridas. Esto último facilitó, junto con otros factores no climáticos la expansión de la frontera agrícola hacia el norte y el oeste.
- ▶ Por el contrario, sobre los Andes patagónicos las precipitaciones tuvieron un cambio negativo en el periodo 1960–2010 y los ríos en el norte de Mendoza y en San Juan parecen indicar reducciones de las precipitaciones durante el siglo XX en sus altas cuencas sobre la Cordillera. Si esta tendencia continúa se restringiría la disponibilidad de agua de riego necesaria para mantener los niveles actuales de la actividad vitivinícola y frutihortícola en sus oasis de riego.
- ▶ Hubo además un cambio hacia precipitaciones intensas más frecuentes en gran parte del país, lo que se tradujo en más frecuentes inundaciones ocasionadas por una inapropiada ocupación y uso del espacio que generó zonas con alta exposición y por la inadecuación de las obras hídricas que fueron planificadas para condiciones climáticas que ya no están vigentes. En el oeste y más notoriamente en el norte, los periodos secos del invierno se han hecho más largos.

Como ejemplo de estos efectos, la Figura 12 muestra el desplazamiento hacia el oeste de las isoyetas (16) y la Figura 13 expone el hidrograma del río Atuel en 1908 y en 1995, donde se verifica una reducción del caudal total, pero con un aumento de caudal en los meses de invierno como consecuencia de que una mayor fracción de las precipitaciones en lugar de mantenerse como nieve escurren como agua líquida (13).

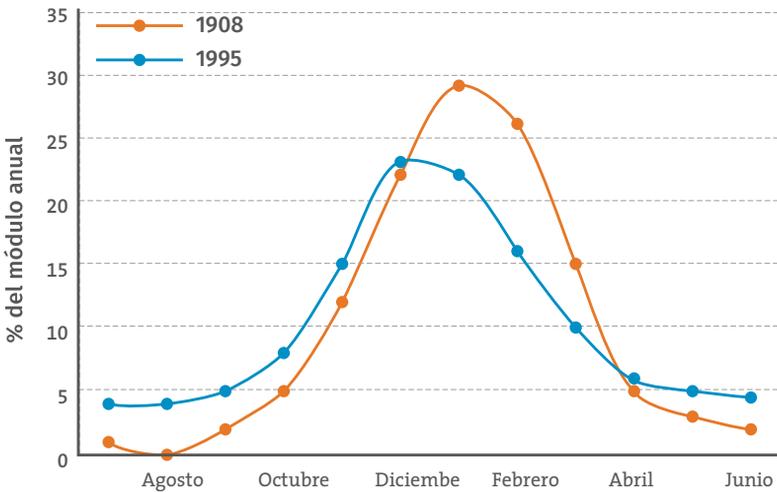
La disminución del caudal de los ríos cordilleranos afectará las represas de la Patagonia reduciendo su oferta eléctrica y afectando la economía regional por la reducción de agua para riego.

Figura 12: Corrimiento de las isoyetas



Referencias: en negro 1950-1969, en rojo 1980-1999.

Figura 13: Hidrograma del río Atuel



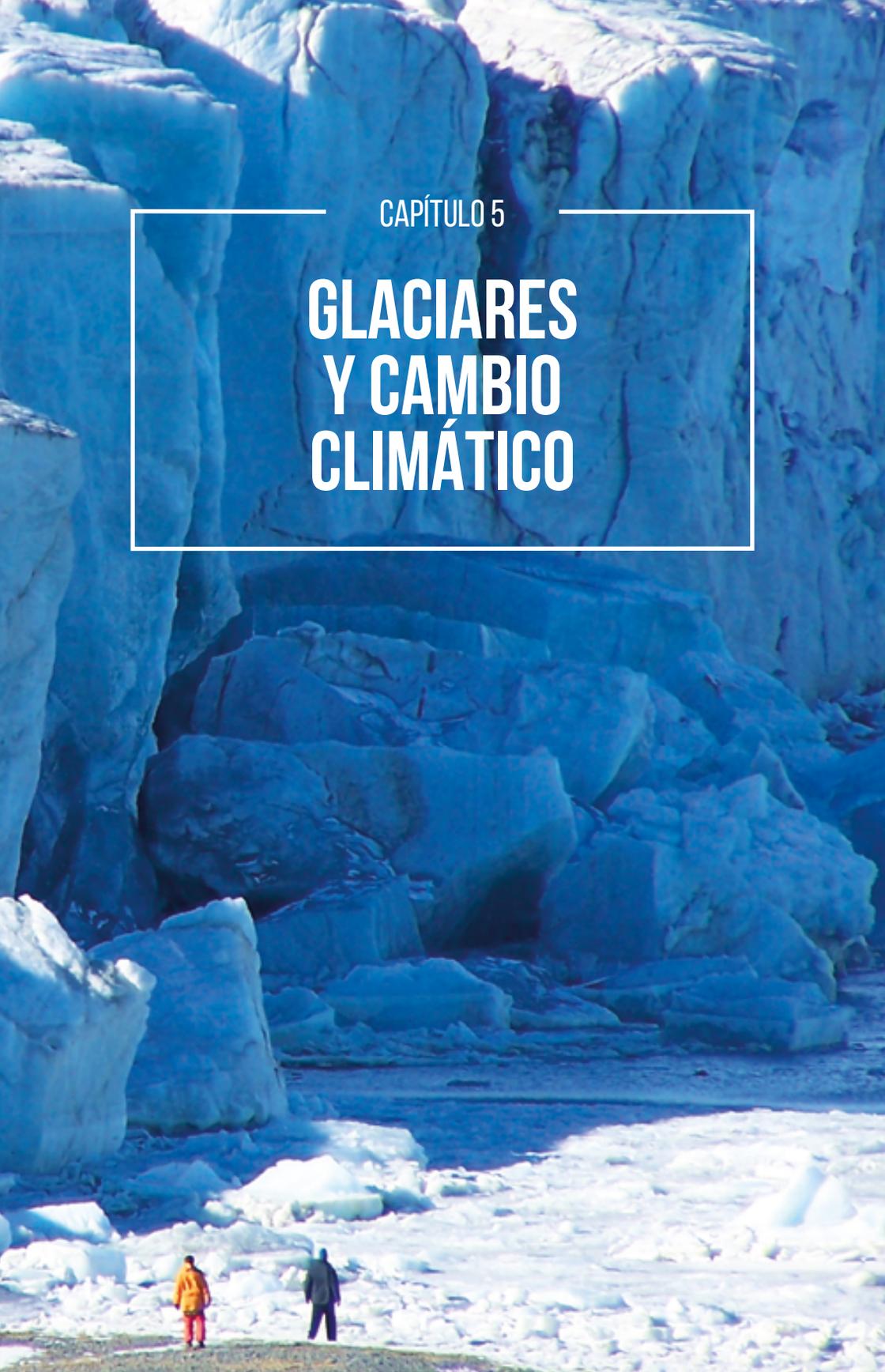
4.6.- Algunas conclusiones

El incremento de la concentración de CO₂ ha llevado la cantidad de este gas en la atmósfera a valores nunca vistos en el último millón de años. La consecuencia es un aumento de la temperatura que, por ahora, parece superará el límite de 1.5 °C por encima de los valores preindustriales en los próximos 20–30 años, lo que llevaría a un aumento del nivel del mar con consecuencias desastrosas para muchas regiones costeras.

Por otra parte, y siguiendo el principio de Le Châtelier, el aumento de la temperatura generará mayor evaporación de las masas hídricas desplazando el intercambio de agua entre atmósfera y superficie hacia una mayor concentración de agua en fase gaseosa y, por lo tanto, a un aumento de la nubosidad lo que, a su vez, incrementará la cantidad de radiación reflejada poniendo en marcha un proceso que redundará en un descenso de la temperatura, tal como se ha verificado históricamente en los ciclos mostrados en la Figura 6. Dado que el ascenso de la temperatura se está produciendo a una velocidad que no registra antecedentes, la reacción del sistema será también de una violencia desconocida en el período bajo análisis y la velocidad con que se producirá el descenso de temperatura tendrá una magnitud de la que no hay registros.

Así planteada la secuencia de causas y efectos brevemente esbozada, y tomando en cuenta el grado de incertidumbre que los propios autores admiten en los resultados predictivos de los modelos climáticos, cabe preguntarse si la velocidad de respuesta de la atmósfera permitirá que la temperatura aumente indefinidamente hasta fines del presente siglo o si, por el contrario, el incremento de la reflexión de la radiación solar, sumado al descenso previsto de ésta de acuerdo con la fase actual de los ciclos de Milancović, no pondrá en marcha un nuevo período de glaciación de intensidad desconocida.



A full-page photograph of a massive glacier. The glacier is a deep, vibrant blue color, with numerous vertical and diagonal cracks and crevasses. In the foreground, two people are standing on a small patch of dark ground, providing a sense of scale to the immense size of the ice. The person on the left is wearing a bright orange jacket and red pants, while the person on the right is wearing a dark jacket and pants. The background shows the continuation of the glacier, with more ice blocks and a dark, shadowed crevasse.

CAPÍTULO 5

GLACIARES Y CAMBIO CLIMÁTICO

5.1.- La criósfera y sus componentes

Llamamos *criósfera* (del griego *kryos*, "hielo") a la parte de la corteza terrestre en la cual se forma hielo y se producen procesos relacionados con él, y donde prevalecen durante gran parte del año condiciones crióticas; es decir, las aguas, suelos o rocas están a temperaturas bajo cero. La criósfera, que incluye la Antártida, el Océano Ártico, Groenlandia, el Norte de Canadá, el Norte de Siberia y la mayor parte de las cimas más altas de las cadenas montañosas, es **un ambiente muy sensible a los cambios climáticos y a las modificaciones antrópicas del terreno.**

Desde el punto de vista termodinámico, la criósfera es un sistema heterogéneo, abierto a la transferencia de masa y energía que abarca una capa discontinua de la Tierra que incluye zonas definidas en la atmósfera, hidrósfera y litósfera. El límite inferior de la criósfera pasa por la base del permafrost y de los glaciares por lo que su espesor, medido desde la superficie, puede variar desde unos 4-5 km en el centro de la Sabana Antártica y 1-1,5 km en las regiones subpolares del norte hasta unas centenas o incluso decenas de metros en zonas de alta montaña.

Una mirada global indica que deben tomarse en cuenta cuatro grandes componentes de la criósfera: la cobertura de nieve terrestre, los hielos marinos, el permafrost y las grandes masas de hielo. Algunos de estos componentes presentan un comportamiento fuertemente estacional en tanto que otros son menos afectados por ese factor, como se puede ver de los datos que se muestran en la Tabla 1 donde se resume el área y el volumen ocupado por cada una de estas formas (1).

La glaciología es la disciplina que enfoca su interés en el estudio del comportamiento de las grandes masas de hielo y el permafrost. En principio, existen por lo menos cuatro escuelas científicas modernas de glaciología: la anglosajona, la francesa, la suizo-germana y la rusa. Todas las definiciones referidas a cuerpos glaciarios son prácticamente iguales y, en general, coinciden en **identificar a un glaciar como una masa de hielo, de amplitud hectométrica o mayor, permanente a escala humana, que se deforma bajo efecto de su propio peso.** Esta masa se desplaza a una velocidad anual de orden métrico a kilométrico en superficie.

Tabla 1: Componentes de la criósfera

Componente	Especificación	Superficie (km ²)	Volumen (km ³)
Cobertura de nieve	Hemisferio Norte, fin de enero	46,5	0,002
	Hemisferio Norte, fin de agosto	3,9	<0,0005
	Hemisferio Sur, fin de julio	0,85	<0,0005
	Hemisferio Sur, fin de abril	0,07	<0,0005
Hielo marino	Hemisferio Norte, fin de marzo	14,0	0,05
	Hemisferio Norte, fin de septiembre	6,0	0,02
	Hemisferio Sur, fin de septiembre	15,0	0,02
	Hemisferio Sur, fin de febrero	2,0	0,005
Permafrost	Continuo	10,7	0,025
	Discontinuo	12,1	0,012
Grandes masas de hielo	Antártida oriental	10,1	22,7
	Antártida occidental y península	2,3	3,0
	Groenlandia	1,8	2,6
	Glaciares de alta montaña	0,68	0,18
	Barreras de hielo	1,5	0,66

Fuente: Atlas de la nieve y el hielo en el mundo. (1997). Moscú. Academia Rusa de Ciencias.

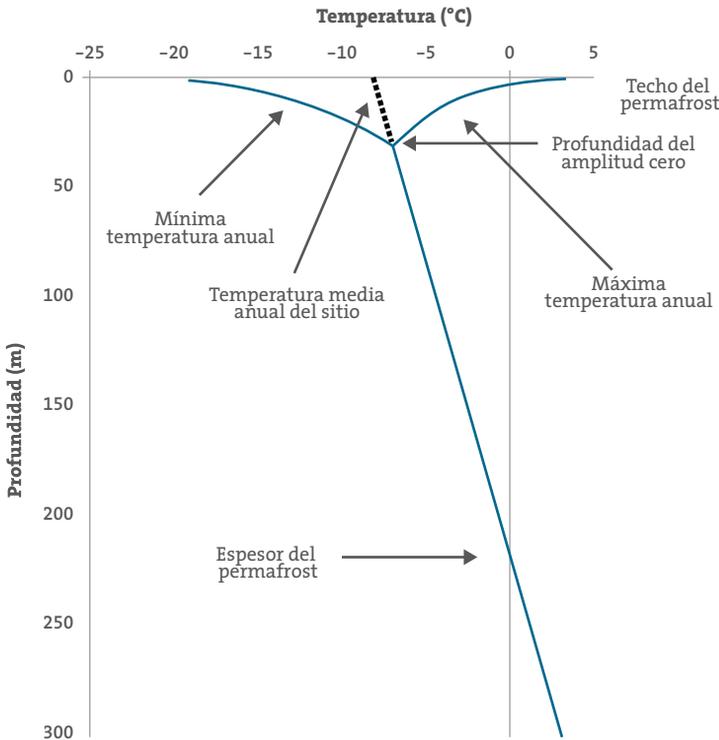
A partir de esta definición general, Lliboutry (2) formuló una definición alternativa, basada en sus estudios de los glaciares de los Andes Meridionales, que es más adecuada para el tratamiento de los fenómenos glaciares en alta montaña. De acuerdo con ella, *un glaciar es una masa de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, cualesquiera sean sus dimensiones y formas, que fluye lentamente por deformación, deslizamiento basal y deslizamiento de sedimentos subglaciales*. En consecuencia, un cuerpo glaciario debe contener hielo en su masa, áreas de acumulación de nieve, movimiento y temporalidad.

Por su parte, **tomaremos como definición de permafrost al suelo o roca, incluyendo hielo y materia orgánica, que permanece a una temperatura de 0 °C o inferior, por lo menos dos años consecutivos (3)**. El permafrost se genera en invierno por la extracción de calor del suelo hacia la atmósfera fría. En verano el calor fluye del

aire caliente hacia el suelo más frío calentando la primera capa del permafrost, que se puede licuar. En consecuencia, dependiendo del resultado de ese balance de energía la capa de permafrost crece o se degrada, según el balance sea negativo o positivo. Por otra parte, existe un flujo de calor geotérmico que proviene del núcleo terrestre que alcanza a la capa de permafrost y, por lo tanto, limita su crecimiento en profundidad. De ese modo, es posible distinguir una capa activa, de espesor variable según la época del año, un nivel tope del permafrost, también variable según la estación y una base del permafrost.

La Figura 1 ilustra la evolución de la capa activa desde el invierno (sector izquierdo de la Figura), cuando la temperatura del aire es menor a 0° C, hacia el verano (sector derecho de la Figura) con temperaturas ambientes superiores a 0° C.

Figura 1: Esquema de la estructura del permafrost



5.2.- Tipos de glaciares

Se han propuesto cerca de diez formas de clasificar los glaciares basadas en diferentes características como la temperatura de hielo, el tamaño, la forma, la dinámica y otras (4). De todas ellas, las más importantes y simples son las que utilizan como criterios fundamentales las características térmicas, dinámicas y morfológicas (5-7).

CLASIFICACIÓN TÉRMICA DE GLACIARES

El gradiente de temperatura en el cuerpo de un glaciar es un factor importante cuando se lo considera como un sistema, ya que el agua de fusión (agua líquida contenida en el hielo), las tasas de erosión y las de ablación dependen directamente de las características térmicas del glaciar, especialmente en su contacto con el lecho rocoso.

En esta clasificación la temperatura significativa es la del núcleo del glaciar, por debajo del nivel de variación estacional de la temperatura y de acuerdo con ella se identifican tres tipos de glaciares (8):

▶ 1. Glaciares Templados

Toda la masa de hielo se encuentra a 0°C y contiene grandes cantidades de agua de fusión. Es típico de las zonas montañosas y de las latitudes medias excepto en grandes altitudes. Son ejemplos los glaciares de los Alpes, Tian-Shan Norte y Oriental, Himalaya y los Andes centrales.

Figura 2: Glaciar Tian-Shan



Continúa en la página siguiente

2. Glaciares Polares

Toda la masa de hielo se encuentra muy por debajo de 0°C . El agua de fusión es prácticamente inexistente. Se los encuentra en casquetes polares y a grandes alturas en latitudes medias o altas. Son ejemplos los glaciares de Antártida, Groenlandia (Figura 3) y los Andes centrales en alturas mayores a los 5000 m.

Figura 3: Glaciar en Groenlandia



3. Glaciares Subpolares (o politermales)

En estos glaciares se ven condiciones mixtas. Los sectores centrales o de gran acumulación tienen características de glaciar templado. Las zonas distales o de poco espesor tienen condiciones de glaciares polares. En verano puede haber grandes cantidades de agua. Son ejemplos los glaciares del norte de la Península Antártica, y los Andes Patagónicos Sur (Figura 4).

Figura 4: Andes Patagónicos Sur



CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DINÁMICA DEL GLACIAR

Según el tipo y características del movimiento de la masa glaciaria, los glaciares se clasifican como:

▶ 1. Glaciares activos

Poseen un movimiento rápido, favoreciendo el desplazamiento de rocas hacia zonas de acumulación (morrenas). La alimentación nival es significativa y se da en la fase de progresión (Figura 5). La gran acumulación de nieve desencadena el proceso de formación del glaciario, así como su desplazamiento en dirección al valle frontal. La mayoría de glaciares de este tipo son estables y se encuentran generalmente relacionados a campos de glaciares extensos.

Figura 5: Glaciar del Geant en los Alpes Occidentales



▶ 2. Glaciares inactivos

Son los que no tienen alimentación y solo persisten por la lenta fusión del hielo. Son relictos, están en la fase de retroceso final por fusión de la masa de hielo restante y no tienen movimiento. Suelen no tener línea de compensación y el retroceso del glaciario es por causa de la desaparición de la zona de acumulación. También se los identifica como acumulaciones de hielo muerto.

Continúa en la página siguiente

▶ 3. Glaciares pasivos

Son aquellos que fluyen lentamente en favor de la pendiente. La movilización de rocas y generación de morrenas es dificultosa. Por lo general estos glaciares están en la fase de retroceso y tienen importancia geomorfológica, por las geoformas de deposición y la génesis de formas donde el agua de fusión es el principal agente erosivo (Figura 6).

Figura 6: Glaciar Whisky en James Ross, Península Antártica



CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE GLACIARES

Esta clasificación se basa en la forma y extensión de los cuerpos glaciarios y puede tener diferentes acepciones a lo largo del tiempo en la bibliografía. La descripción que sigue es una de las más aceptadas.

▶ 1. Inlandsis

Son áreas o superficies de hielo, de pendiente casi horizontal. En Antártida y Groenlandia están los mayores inlandsis del planeta, si bien existen otras superficies menores como por ejemplo el Campo de Hielo Patagónico, las masas glaciares de Islandia o de las Islas Spitzberg.

▶ 2. Sabanas de Hielo

En la Antártida, los inlandsis se llaman sabana de hielo cuando superan los 50 000 km².

▶ 3. Glaciares de montaña

Son glaciares pequeños y restringidos a circos en montaña y son típicos en alta montaña (antiguamente se los denominaba alpinos). También se observan en los márgenes oriental y occidental de la Península Antártica.

5.3.- Glaciares, permafrost y el ciclo del agua

La evaporación del agua de los océanos y, en menor medida, de las aguas superficiales existentes en la superficie de continentes e islas se acumula en la atmósfera formando nubes que se desplazan impulsadas por los vientos hasta que las condiciones termodinámicas en un punto determinan que el vapor de agua se condense en precipitaciones. Según sean las temperaturas locales estas precipitaciones pueden ser líquidas (lluvia) o sólidas (nieve).

Las barreras orográficas funcionan como “obstáculos” del proceso de circulación, lo que determina la descarga de importantes volúmenes de agua que, en la alta montaña, cae en forma de nieve durante gran parte del año. En los veranos el aumento de temperatura determina la fusión parcial de la nieve lo que alimenta un sin fin de arroyos y acuíferos de alta montaña.

La cantidad de calor que llega a una superficie depende de dos parámetros meteorológicos importantes en estos ambientes: la heliofanía y la radiación solar:

- ▶ A la **heliofanía** contribuyen dos factores: la heliofanía efectiva, que está relacionada con la duración en horas del brillo solar, y el fotoperíodo, que está vinculado con el número de horas que, para una determinada localidad y en un lapso de tiempo dado, el sol estuvo libre de obstrucciones causadas por fenómenos meteorológicos (nubes o niebla).
- ▶ La **radiación solar** neta es la suma de la intensidad de radiación solar recibida directamente sobre un plano horizontal más la radiación que alcanza el mismo plano luego de ser reflejada por el cielo y las nubes. La radiación solar se expresa en Cal/cm². Este parámetro tiene diferente incidencia en la ablación en función del relieve topográfico y la orientación de las pendientes y laderas.

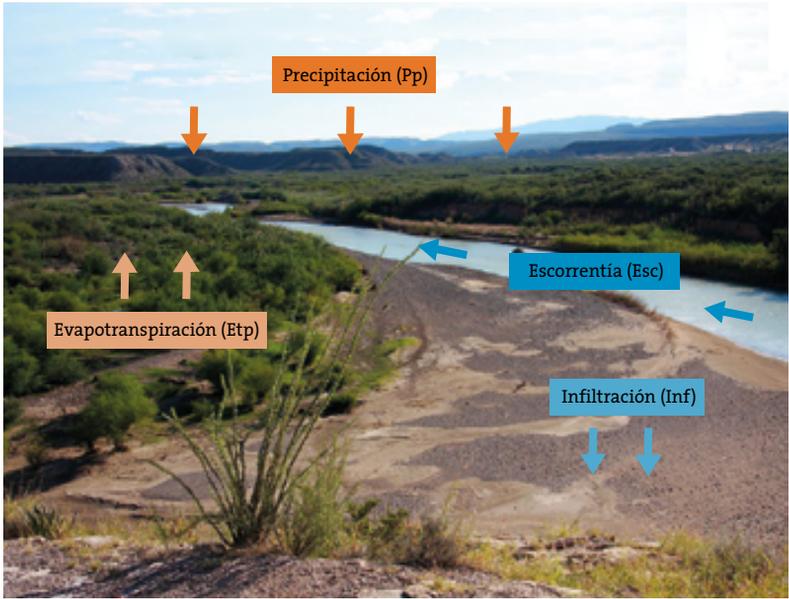
Otra fuente de energía térmica que es de importancia en algunos casos está dada por las precipitaciones líquidas que ocurren en periodos estivales. Estas lluvias aportan una cantidad de calor que favorece los procesos de ablación de forma esporádica, pero notable. Otros parámetros que pueden tener importancia en casos específicos son los vientos, la humedad ambiente y la temperatura del suelo.

El **balance hídrico** es la evaluación de ingresos y egresos de agua superficial en una determinada región. La Figura 11 esquematiza este balance en una región templada.

Los ingresos de agua se producen por precipitación (Pp) en tanto que los egresos se deben al fenómeno de evapotranspiración (Etp) e infiltración en el terreno (Inf). Por su parte, los caudales de aguas superficiales definen una escorrentía (Esc) que, para la región considerada, puede ser positiva o negativa. En la región, en consecuencia, la sumatoria de todas estas contribuciones es nula:

$$Pp + Etp + Inf + Esc = 0$$

Figura 11: Balance Hídrico en áreas tórridas o templadas



Pero, ¿qué ocurre en las zonas frías o en la alta montaña?

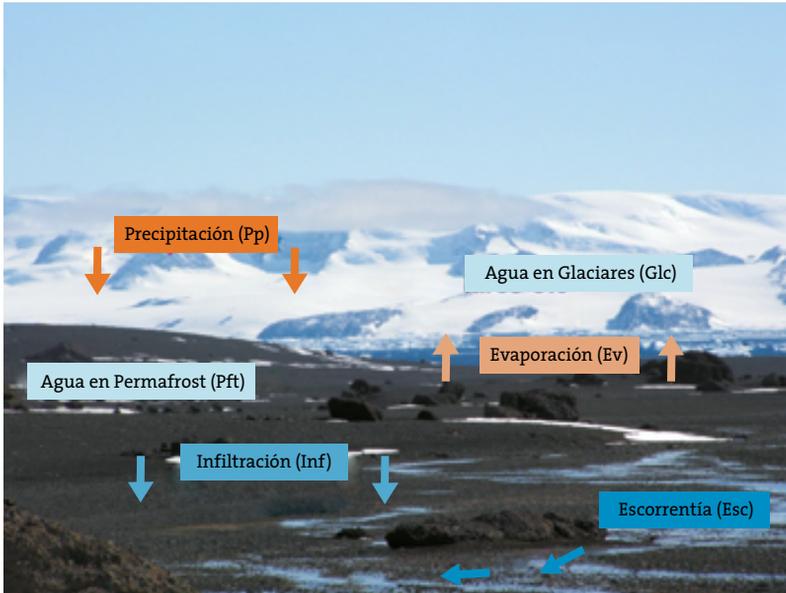
En este caso, al considerar los términos del balance hídrico se deben incluir dos términos que son característicos de este tipo de ambiente: el agua contenida en los glaciares o campos de hielo (Glc) y el agua contenida en el suelo congelado o permafrost (Ptf), siendo necesario diferenciar la importancia en cada caso respecto de sus aportes al nivel de una cuenca.

Por otra parte, en muchos casos y dada la escasa existencia de materia vegetal, no hay prácticamente pérdidas por transpiración y entonces el término Evt estará definido solamente por el fenómeno de evaporación, incluyendo en ese término la sublimación del hielo.

De esta manera, la ecuación de balance puede redefinirse, incorporando los nuevos términos que se ilustran en la Figura 12, como:

$$Pp + Etp + Inf + Esc + Glc + Ptf = 0$$

Figura 12: Balance Hídrico en zonas frías o de alta montaña



Si se focaliza el análisis del balance en la región en la escorrentía tenemos que la cantidad de agua que sale en forma neta de la región por escorrentía es:

$$\text{Esc} = \text{Pp} + \text{Ptf} + \text{Glc} + \text{Inf} + \text{Ev}$$

En ambientes polares y de alta montaña tanto la evaporación como la infiltración tienen normalmente valores pequeños, por lo que, en la mayoría de los casos, las pérdidas por escorrentía se pueden calcular como:

$$\text{Esc} \approx \text{Pp} + \text{Ptf} + \text{Glc}$$

Concluimos, entonces, que la escorrentía en las cuencas de las regiones polares y de alta montaña es consecuencia de los aportes de las precipitaciones (Pp), del permafrost (Ptf) y de los glaciares (Glc).

Las cuencas hídricas alimentadas por glaciares (CG) se caracterizan por un aporte de descarga directa de la ablación glaciaria estival. En dichas cuencas factores como la temperatura del aire, su humedad relativa y los vientos dominantes pueden tener particular incidencia. Como se ve en la Figura 13, el aporte de aguas desde el glaciar se produce a través de dos vías principales: la escorrentía glaciaria directa debida a la ablación y un flujo subterráneo que pasa por debajo de la capa de permafrost.

En las cuencas alimentadas por la capa activa del permafrost (CP) durante el descongelamiento estival en la capa activa se desarrolla una zona de acuíferos supraperafrost. La lenta ablación y el descenso de la capa activa descarga agua en cursos fluviales. En estos casos la temperatura del suelo, el grado de insolación y la escasez de precipitaciones son los aspectos climáticos dominantes (Figura 14).

Las cuencas alimentadas por precipitación nívea (CL) asemejan su comportamiento a la dinámica fluvial característica de latitudes altas. La alimentación directa de cursos fluviales y acuíferos por recarga de la ablación de las precipitaciones níveas ocurre en períodos estivales con medias arriba de 0° C, en áreas donde las cuencas no poseen conexión con glaciares y donde el permafrost es discontinuo. En este caso la escorrentía dependerá de la

magnitud de las precipitaciones, de parámetros morfológicos de la cuenca y de las permeabilidades de las unidades geológicas de la misma (Figura 15).

En general, las cuencas hidrológicas son ambientes hídricos mixtos, es decir, que poseen descargas glaciares, un importante aporte variable de las precipitaciones (líquida o nívea) y la ablación del permafrost; en algunas de ellas, alguno de estos eventos es dominante sobre los otros. En la alta montaña, la existencia de permafrost, glaciares y precipitaciones líquidas estivales permiten la formación de cantidades significativas de aguas subterráneas. Aunque el aporte de cada fuente debe ser evaluado en cada caso, la dinámica específica se diferenciará notoriamente si existe la posibilidad del aporte subterráneo procedente de los glaciares. Su relación con las precipitaciones locales favorece el desarrollo de los humedales (mallines) y cuerpos de agua en la cuenca. Los glaciares, en función de su tipología, pueden tener influencia en las descargas superficiales y subterráneas, dependiendo de sus características.

Figura 13: Esquema del mecanismo de aporte en cuencas tipo CG

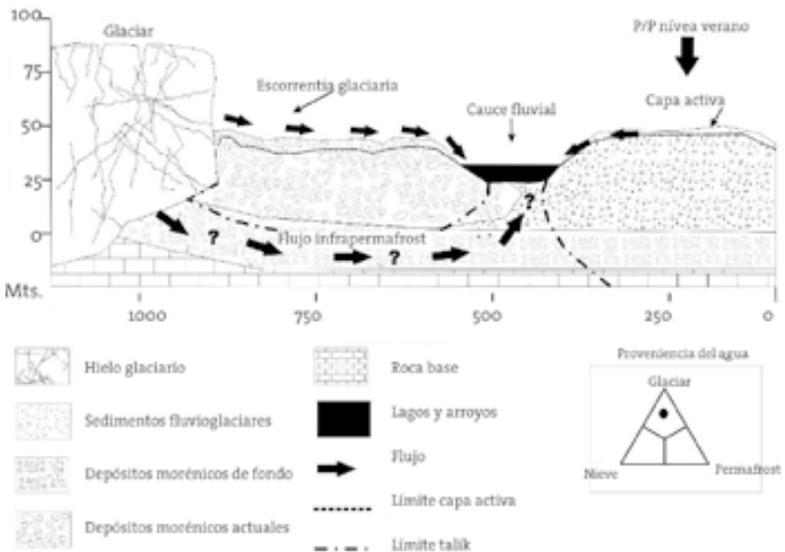


Figura 14: Esquema del mecanismo de aporte en cuencas tipo CP

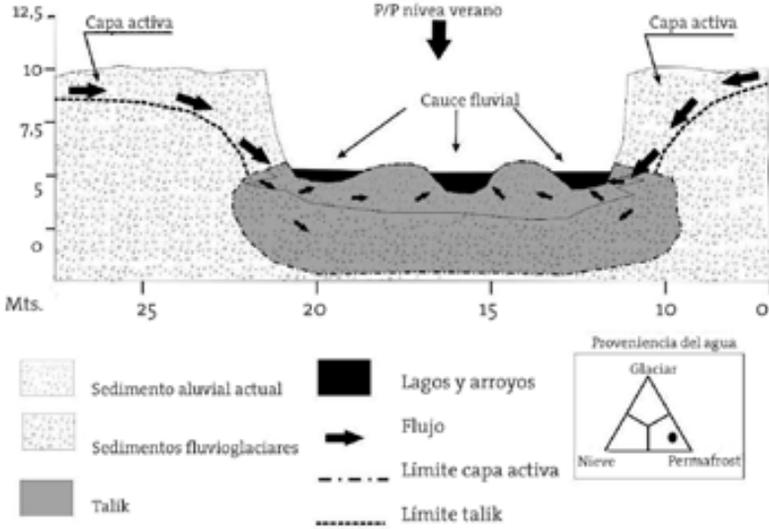
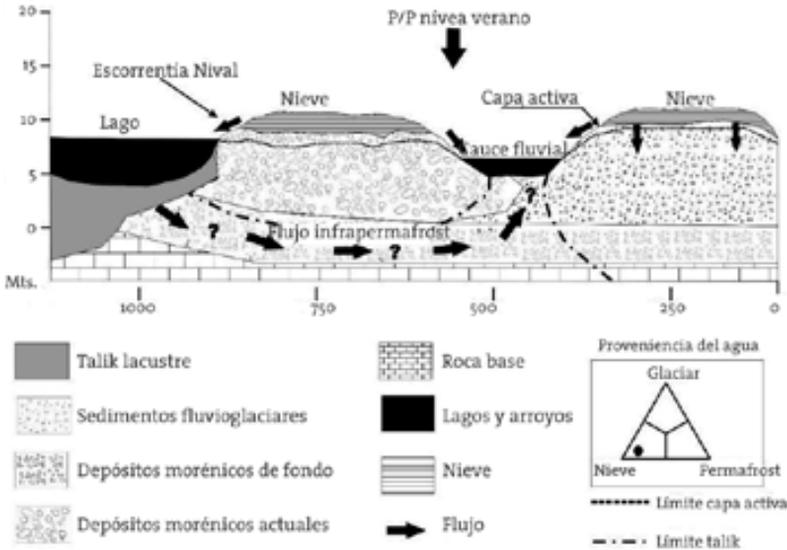


Figura 15: Esquema del mecanismo de aporte en cuencas tipo CL



5.4.- Historia de los glaciares

Ya a comienzos del siglo XIX se había concluido que, a lo largo de la historia del planeta, se produjeron avances y retrocesos importantes de las masas de hielo. Sin embargo, las capacidades tecnológicas disponibles en la época no permitieron avanzar en la obtención de una imagen más detallada de los procesos ocurridos. En la actualidad, a partir de las posibilidades que ofrecen las modernas técnicas experimentales, ha sido posible avanzar significativamente en esa dirección. Para ello se utilizan, básicamente, determinaciones sobre los efectos de las glaciaciones en tres aspectos: geológicos, químicos y paleontológicos.

En base a este tipo de análisis global la visión actual de los glaciólogos respecto de la cronología de las glaciaciones concluye que hay evidencia incontestable acerca de que, durante los últimos millones de años, se ha producido una alternancia de períodos glaciares con períodos interglaciares y que la velocidad con que se producen estos cambios implica lapsos de tiempo que exceden, con mucho la vida media de un hombre.

Así, hay acuerdo general en que la cronología de las glaciaciones se puede esquematizar sobre la base de la existencia de cinco grandes períodos glaciares clasificados según se muestra en la Tabla 2 (9).

Tabla 2: Clasificación de los cinco grandes períodos glaciares

Período glacial	Inicio	Fin
Cuaternario	2 500 000 a.C.	10 000 a.C.
Karoo	360 000 000 a.C.	260 000 000 a.C.
Andino-Sahariano	450 000 000 a.C.	420 000 000 a.C.
Sturtian-Varangian	850 000 000 a.C.	635 000 000 a.C.
Huroniano	2 400 000 000 a.C.	2 100 000 000 a.C.

Fuente: Van Andel, T. H. (1994). New Views on an Old Planet: A History of Global Change. Cambridge: Cambridge University Press.

Hay también evidencia de que dentro de cada gran período glacial hay variaciones con etapas de aumento y etapas de descenso de la temperatura. En este particular, es de interés considerar dos de esas etapas dentro del período cuaternario:

- ▶ La primera de ellas, la **glaciación de Würm**, se inició hace unos 100 000 años y finalizó entre el 15 000 a.C. y 10 000 a.C. Durante ese lapso se produjeron diferentes variaciones de avance y retroceso de los límites del hielo permanente con un punto de avance máximo que se produjo alrededor del año 18 000 a.C. con diferencias significativas entre distintas zonas del planeta.
- ▶ El segundo episodio a considerar, de mucha menor duración, es la llamada **“pequeña edad de hielo”**, que se extendió entre comienzos del siglo XIV y mediados del XIX poniendo fin a un período excepcionalmente caluroso que se denomina **“óptimo climático medieval”**. Hay consenso en el sentido de que la ocurrencia de varias erupciones volcánicas en un lapso de tiempo breve (ca. 50 años) fue el hecho a partir del cual se disparó el fenómeno que, a lo largo del tiempo, fue modulado por otros factores (reducción temporaria de la radiación solar, modificaciones en las corrientes marinas, impacto de los ciclos de Milanković) que determinaron oscilaciones de la temperatura con mínimos en tres momentos: ca. 1650, ca. 1770 y ca. 1850.

Estamos, entonces, en un momento de la historia geológica en el cual la tendencia a largo plazo es la de un retroceso de las masas glaciarias. Este fenómeno, sin embargo, no ocurre en forma homogénea y hay diferencias importantes entre distintas regiones. Por ello, una primera aproximación al tema exige saber cuál es la distribución de glaciares en la Tierra. La Tabla 3 (10,11) resume los datos de ubicación geográfica y extensión de los glaciares hoy existentes.

Tabla 3: Distribución de los glaciares en la Tierra

Región	Subregión	Área (km ²)
Antártida		13 586 310
Groenlandia		1 726 400
América del Norte		276 100
	Canadá	200 806
	EEUU	75 283
	México	10
Europa		53 967
	Islas del Océano Ártico	36 612
	Islandia	11 260
	Escandinavia	3174
	Alpes	2909
	Pirineos	12
Asia		185 211
	Ex URSS	77 223
	China	56 481
	Pakistan, India	40 000
	Nepal	7500
	Turquia; Iran, Afganistan	4000
	Indonesia	7
Sudamérica		25 908
	Patagonia	21 200
	Argentina al norte del 47,5° S	1385
	Chile al norte del 46° S	743
	Bolivia	566
	Perú	1780
	Ecuador	120
	Colombia	111
	Venezuela	3
Islas en mares australes		7860
África		10
TOTAL		15 861 766

La evolución de los glaciares en las distintas subregiones se estudia a través de la medición de los balances de masa. Los resultados obtenidos hasta ahora, que confirman la tendencia general al retroceso de los glaciares, pueden resumirse de la siguiente forma:

- ▶ El balance de masa para la Antártida y Groenlandia muestra que hay una reducción de la masa de hielo en las zonas costeras, pero un incremento en áreas alejadas de la costa. En su enorme mayoría los resultados se han obtenido por métodos indirectos de medición por lo que, si bien el resultado global de los datos publicados es negativo, los errores implícitos en los métodos utilizados son lo suficientemente altos como para tomar ese resultado global con alguna reserva.
- ▶ En el caso de los glaciares de alta montaña el resultado es claramente negativo y los errores metodológicos son lo suficientemente pequeños como para aceptar esa conclusión sin reserva alguna.
- ▶ El Campo de Hielo Patagónico está también en franco retroceso: desde 1871 hasta 2010 el principal glaciar del Campo, el Glaciar San Rafael, muestra un retroceso lineal de 10 km. Por su parte el glaciar Uppsala retrocede, desde 1990 a razón de 200 m por año.
- ▶ En las islas de los mares del Sur y del Océano Ártico el resultado del balance de masa es también negativo.



5.5.- Glaciares de montaña, actividad humana y tendencias futuras

Los glaciares de montaña son indicadores sensibles de los cambios que el clima pudiera experimentar a lo largo del tiempo y sus cambios son la más clara evidencia que tenemos de la variabilidad climática que ha sufrido y sufre nuestro planeta. Esos cambios afectan el aspecto del paisaje en alta montaña lo que los convierte en excelentes indicadores en los sistemas de observación del clima a nivel global.

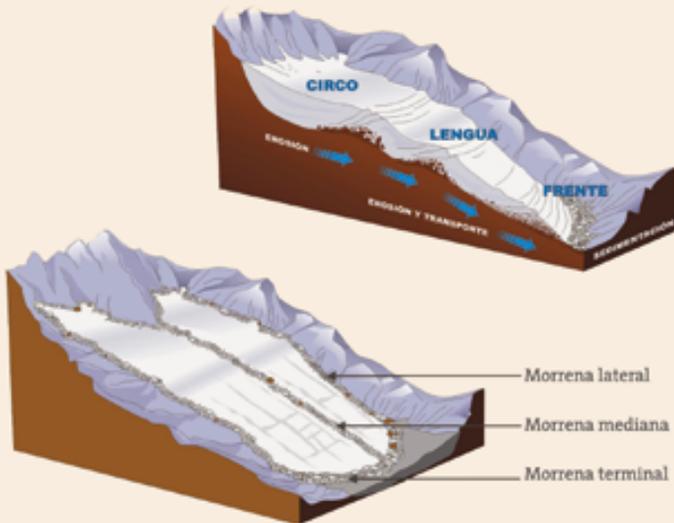
TIPOS DE GLACIARES DE MONTAÑA

Según la altura y su superficie subglaciar se identifican diferentes morfologías de glaciares de montaña (1):

1. Glaciares de circo

Denominados así por ocupar las partes superiores de los circos (geoformas de erosión que se asemejan a los antiguos circos romanos). Son típicos en los Andes áridos, los Alpes, Pamir Este y la meseta de Tibet. (Figura 16).

Figura 16: Esquema de glaciares de circo y de pendiente



Continúa en la página siguiente

▶ 2. Glaciares de Valle

Son glaciares que discurren por un valle bien definido. Son muy típicos en los valles intermontanos ubicados sobre la línea de nieve permanente con lenguas proyectadas que descienden por la pendiente hasta debajo de dicha línea. En estos glaciares se puede definir zonas: de acumulación, de ablación, de nieve-firn seca y nieve-firn húmeda (Figuras 17 y 18).

Figura 17: Perfil típico de un glaciar del valle

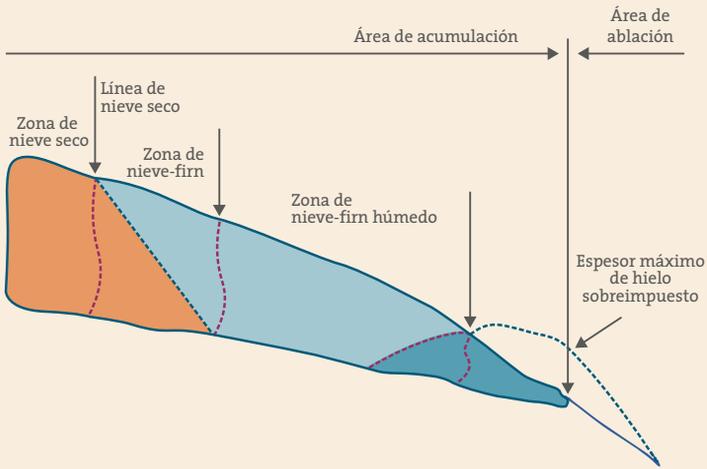


Figura 18: Glaciares del valle en Pamir Occidental



Continúa en la página siguiente

3. Glaciar compuesto

Es un tipo de glaciar alimentado por otros menores que, a manera de afluentes, llegan por los costados a engrosar su volumen principal de flujo. Se hallan en los Alpes, la meseta de Tibet, el margen de Campo de Hielo Patagónico Sur y Norte.

Figura 19: Glaciar compuesto en Alpes



4. Glaciar de Pedemonte

Geométricamente, su frente asemeja a un abanico de hielo de en superficie plana muy expandido lateralmente. Son típicos en Canadá y Alaska (Figura 20).

Figura 20: Glaciar de Pedemonte en Canadá



Continúa en la página siguiente

5. Glaciares de cima y colgantes

Se encuentran en superficie topográficamente tendidas en alta montaña con climas áridos. Las condiciones para formación de estos glaciares son extremas y por ellos suelen estar ubicados únicamente a gran altura. Glaciares de este tipo se hallan en Pamir Este, la meseta de Tibet y los Andes áridos (Figuras 21 y 22).

Figura 21: Glaciar colgante en Andes áridos

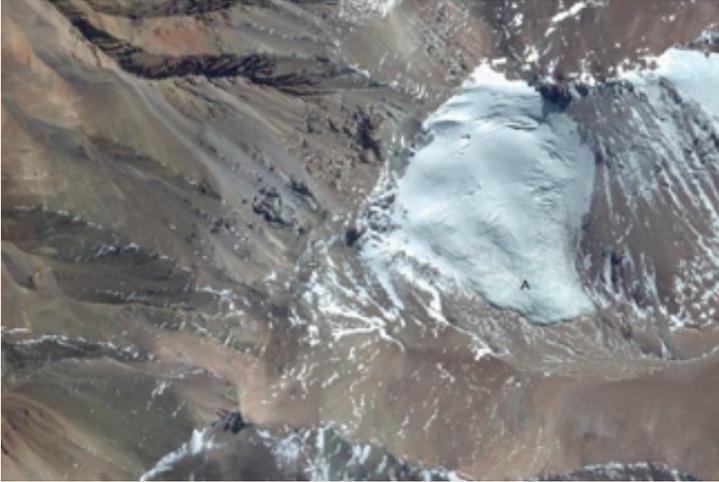


Figura 22: Glaciar de cima plana en Pamir Este



5.5.1.- Los glaciares y la actividad humana

Los glaciares juegan un papel importante en la vida humana toda vez que el agua de deshielo de los glaciares de montaña es una de las fuentes de alimentación de los ríos y acuíferos frecuentemente explotados para consumo humano.

La participación de la alimentación glacial en la escorrentía total de la mayoría de los ríos que se originan en los glaciares es relativamente pequeña y solo es significativa en las inmediaciones del glaciar pudiendo alcanzar el 50% de la escorrentía anual y, a veces, superar ligeramente este valor. El resto de la escorrentía anual de estos ríos está formado por otras fuentes de aporte, principalmente el derretimiento de la nieve estacional que se extiende sobre la superficie del glaciar y enmarca sus laderas. La presencia de glaciares en la cuenca del río crea características completamente únicas del régimen y niveles de flujo durante el año y tiene un impacto significativo en la variabilidad del flujo anual de dichos ríos.

Los ríos en los que participan los glaciares como fuente de aporte se caracterizan por generar extensas inundaciones de verano y fluctuaciones relativamente pequeñas en los niveles y descargas (es el tipo de régimen hídrico en Tien Shan, Pamir Occidental y Gumalayes). Su apariencia es causada por un cambio en el clima y un cambio en la intensidad de la fusión.

5.5.2.- El caso argentino

En el caso de la Argentina los glaciares existentes se pueden clasificar según tres áreas geográficas: Patagonia Austral, Andes Centrales Áridos y Andes Centrales Desérticos (14).

El campo de Hielo Patagónico Sur (CHPS) con 12 500 km² de extensión es la masa de hielo de mayor extensión en el sur del continente (Figura 16). El estudio del CHPS y del impacto del cambio climático en sus glaciares es importante no solo desde el punto de vista científico sino también económico, ya que pueden existir repercusiones directas sobre actividades y recursos clave para toda la región e incluso a nivel nacional.

Casi toda el agua disponible para el aprovechamiento de energía hidroeléctrica, actividades agropecuarias, etc. de las regiones semiáridas de Santa Cruz proviene del deshielo. El río Santa Cruz, que colecta las aguas de los lagos Viedma y Argentino, es por su caudal (697 m³/s) el sexto río más importante del país. Al Lago Viedma fluye el glaciar homónimo y el Lago Argentino se alimenta, entre otros, por dos glaciares de gran extensión, el Glaciar Upsala de 902 km² y el Glaciar Moreno, de 257 km² de superficie.

El retroceso general observado en el CHPS se explica como una reacción directa ante el calentamiento atmosférico regional y una evidente disminución en las precipitaciones observada durante las últimas décadas (15, 16). A partir de las primeras fotos aéreas del CHPS de 1944/45 hasta las imágenes satelitales Landsat, Radarsat, e Iconos, en combinación con estudios terrestres, se detectaron variaciones de la superficie de los glaciares (17–19).

La tasa de retroceso promedio para mayoría de los grandes glaciares en el sector atlántico se estima en 20–30 m/año, estando el máximo en el Glaciar Upsala con un retroceso frontal de 700 m/año entre 1993 y 1995. Durante el siglo pasado ha sido notorio el retroceso general de los glaciares del CHPS. En particular, el análisis del comportamiento de los 48 glaciares más importantes de descarga del CHPS (son los glaciares típicos y más grandes de la zona como el Upsala, el Viedma y el Perito Moreno) entre 1944–45 y 1995–96: arroja una disminución en el área de 264 km² (20).

En el noroeste de la provincia de Chubut se ha completado el inventario preliminar de la Cuenca del Río Tigre y parte de la de los ríos Esperanza y Turbio en el límite Chile–Argentina (21): a partir del análisis e interpretación de la imagen ASTER del 4 de abril de 2007 se identificaron 36 glaciares (cuerpos de más de 0,1 km²) en las cuencas de los ríos Tigre, Alerce, Blanco y Villegas Oeste, con un área total de 25,386 km².

La mayoría de estos cuerpos no sobrepasa los 0,5 km² y tan sólo seis de ellos tienen una superficie mayor que 1 km². La altura media a la que se encuentran los glaciares está entre los 1.800 y 2.200 msnm. El glaciar más importante de la zona es el Planchón Nevado con 4,65 km² (Figura 24) que ha perdido un 16% de superficie entre 1987 y 2007 (22).

Figura 23: Mapa del sur de Argentina y Chile con el Hielo Patagónico Norte (HPN) y el Hielo Patagónico Sur (HPS) y la provincia de Santa Cruz

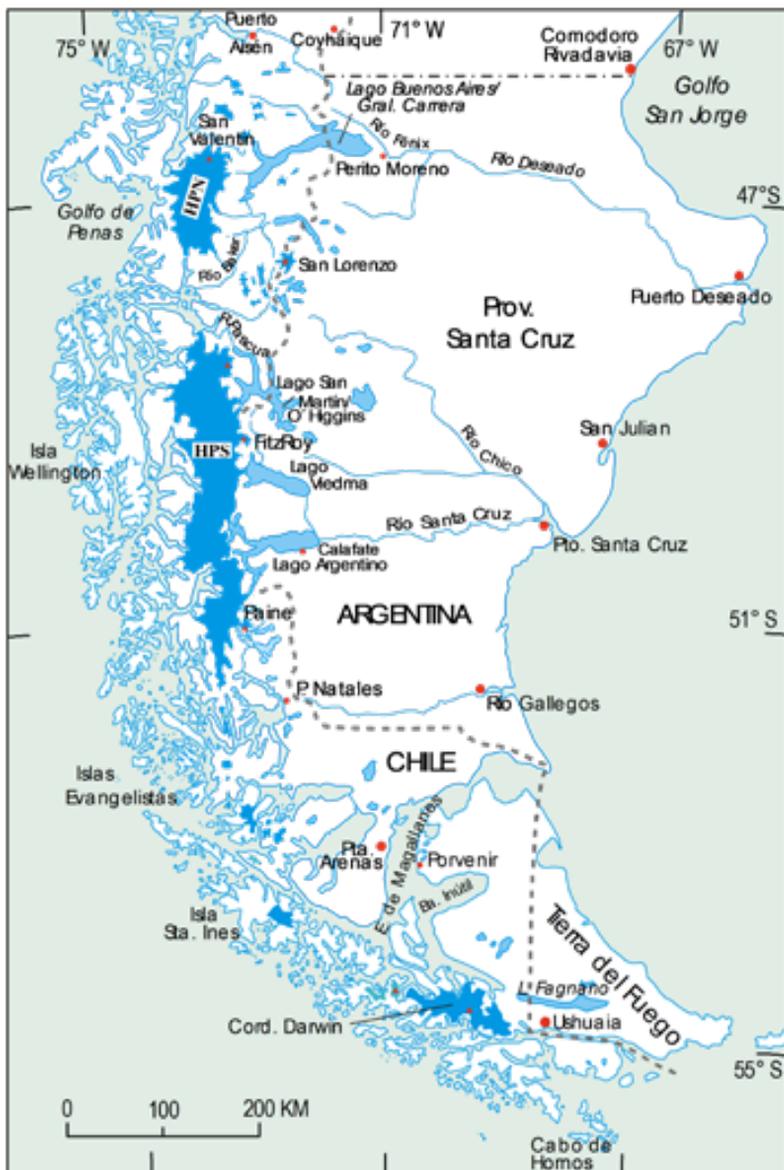


Figura 24: Glaciar Planchón Nevado en época de invierno (sup.) y verano (inf.) con lago proglaciar



Los Andes Centrales conforman el segmento más elevado de la Cordillera de los Andes y albergan varios cerros de más de 6.000 m de altura entre los que se destaca el Cerro Aconcagua con 6960 m sobre el nivel del mar. Las mediciones realizadas en 1982 (23) indicaron que, para entonces, los glaciares en la cuenca del Río Mendoza cubrían 647 km², de los cuales 304 km² correspondían a hielo descubierto y 343 km² a hielo cubierto por detrito, representando aproximadamente un 10,5% del total del área en la cuenca del Río Mendoza. En el sector oriental del Cordón del Plata y del Portillo, en la cuenca del Río Tunuyán, Provincia de Mendoza, el área glaciaria era de 144 km², de los cuales el 40% corresponde a hielo descubierto.

Las fluctuaciones del Glaciar de las Vacas y del Glaciar Güssfeldt, ubicados en las cercanías del Cerro Aconcagua a unos 10 km al este del Glaciar Piloto Este, han sido estudiadas utilizando información histórica (incluyendo fotos y un mapa de Fitz Gerald de 1896-1897), fotos aéreas, imágenes satelitales y relevamientos de campo. La Figura 25 muestra los distintos frentes determinados entre 1896 y 2005. Esta información indica que entre 1896-97 y 2005 estos dos glaciares han experimentado un retroceso bastante pronunciado sólo interrumpido por pequeños avances o periodos de estabilidad. El frente del Glaciar de las Vacas retrocedió unos 3.040 m entre 1896 y 1974, avanzó posteriormente unos 690 m entre 1974 y 2003 y retrocedió levemente a partir de 2003. El Glaciar Güssfeldt, por su parte, retrocedió aproximadamente 5.000 m entre 1896 y 1999 con pocos cambios entre 1999 y 2005 (24).

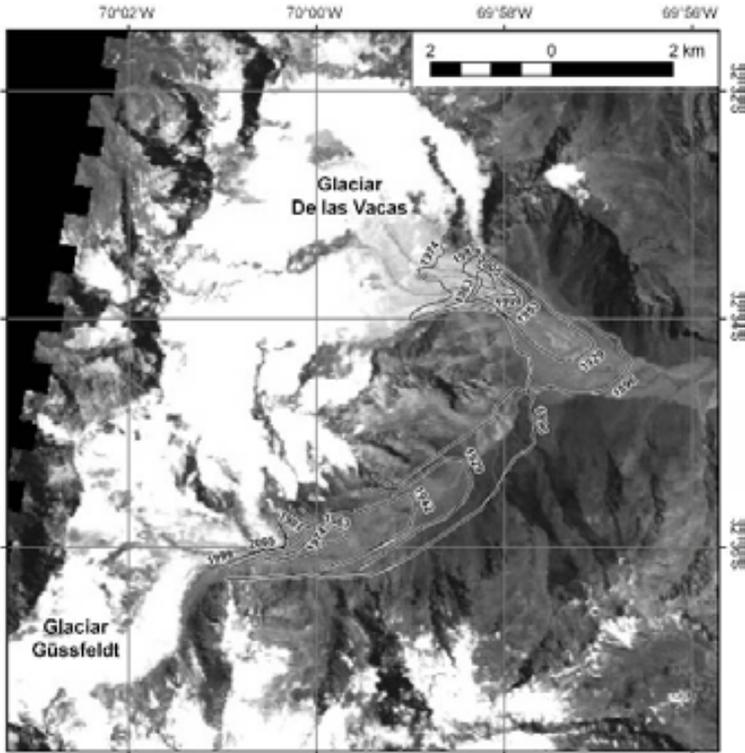
En la vertiente occidental, desde la cuenca del Río Aconcagua hasta la del Río Maule (VII Región, Chile), el área presenta un clima semiárido en la parte norte y más templado y húmedo hacia el sur. En esta región, las principales alturas son los cerros Tupungato (6570 m), Marmolejo (6108 m) y El Plomo (5430 m), más los volcanes San José (5856 m) y Maipo (5264 m). En la zona centro se han inventariado más de 1500 glaciares con una superficie de hielo de más de mil km² que es la segunda mayor área después de los Campos de Hielo Patagónico Austral.

En el área de los **Andes Centrales Desérticos** los glaciares se clasifican como glaciares fríos debido a que los cuerpos de hielo están ubicados por sobre los 4300-4700 msnm donde las temperaturas son muy bajas. Por ello, para la génesis de este tipo de glaciares

las variaciones de precipitaciones interanuales son más importantes que el aumento o disminución de la temperatura. Los fenómenos de El Niño y La Niña son los que determinan la acumulación de nieve sobre estos cuerpos de hielo perenne.

Los principales glaciares de los Andes centrales desérticos son el Agua Negra y los glaciares de los valles de los ríos Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos. El Glaciar Agua Negra tiene una longitud aproximada de 2,3 km con un ancho promedio de 550 m. Es un glaciar de hielo descubierto con una parte frontal de glaciar de roca (25). La parte descubierta del Glaciar Agua Negra posee un área de 1,2 km². Su cota máxima es de 4970 metros, y su cota mínima de 4550 metros. Los límites del glaciar son escarpados en el flanco occidental, y suaves en la cabecera norte y costado oriental. La reducción de su superficie fue de un 18,5% en el periodo 1960–2002, pero a partir de 2002 el glaciar se mantiene estable (26).

Figura 25: Fluctuaciones de los glaciares de las Vacas y Güssfeldt



Las sub-cuencas de los ríos Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos se desarrollan alrededor de los 29°-30° S y cubren un área de unos 130 km². Los glaciares principales en esta zona son el Potrerillos, el Canito, el C34 y el Guanaco (Figura 26). Las aguas de ablación de los glaciares alimentan al río las Taguas, el cual es a su vez un tributario del Río Jáchal, en la Provincia de San Juan. Las elevaciones varían entre los 3500 msnm en la cuenca del Río Taguas hasta 5.500 msnm en el límite internacional con Chile en la zona de cabecera de las subcuencas (Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos).

Las precipitaciones muestran un régimen muy particular ya que dependen fuertemente del efecto climático de “El Niño”. En los años normales promedian 100-110 mm/año mientras que cuando reciben el efecto de “El Niño” llegan a 400-430 mm. La temperatura media anual a 4.900 msnm es -6.8°C. Las temperaturas máximas en este nivel alcanzan los 8-9 °C en verano y las mínimas llegan a -20°C en invierno.

Los glaciares de las cuencas Los Amarillos, Turbio, Canito y Potrerillos se encuentran documentados desde 1959, año en que se realizó un vuelo donde se tomaron fotografías aéreas. Entre 1959 y 2007 el área de los glaciares de la zona y manchones de nieve se redujo un 15%. Esta tendencia se encuentra claramente desarrollada, por ejemplo, en la reducción de la superficie del glaciar Canito que perdió 40% a lo largo del mismo período. Según estudios más recientes del IANIGLA este retroceso continúa.

Figura 26: Ubicación típica de los glaciares de altura en los Andes desérticos



5.5.3.- Tendencias futuras

Actualmente existe una polémica sobre el futuro de los glaciares, en particular los glaciares de montaña en áreas continentales a latitudes inferiores a 60°. Estos se encuentran a expensas de dos escenarios posibles: el del “calentamiento global” y el de un descenso de temperatura del planeta como ya ha ocurrido en tiempos pretéritos.

El primer escenario está fundado sobre la base del estudio glaciológico en varios glaciares en mundo, considerados como indicadores de estado de situación (27). Estos son glaciares de montaña y han sido observados de forma coordinada entre los países durante más de un siglo (28). Sobre la base de las mediciones de 37 de estos glaciares de referencia se ha observado que la tasa promedio de pérdida de espesor de hielo por década, se ha triplicado desde la década de los 80 del pasado siglo a la actualidad. La máxima pérdida documentada en el período 1980-1999 (en 1998) ya ha sido superada cuatro veces en el siglo XXI: en 2003, 2006, 2010 y 2011 (29).

Los datos aéreos y de satélite confirman la tendencia y señalan pérdidas aún mayores en ciertas regiones tales como el sur de Alaska y zonas tropicales de los Andes (30). Los glaciares tropicales alcanzaron la máxima extensión de su “Pequeña Edad de Hielo” entre finales del siglo XVII y principios del XIX. Desde entonces, estos glaciares han mostrado un retroceso general, marcado por dos períodos de aceleración: uno a finales del siglo XIX y otro en los últimos 30 años, siendo este el más pronunciado. Estos cambios se captan mejor mediante las mediciones del balance de masa realizadas mensualmente en Bolivia, Ecuador y Colombia.

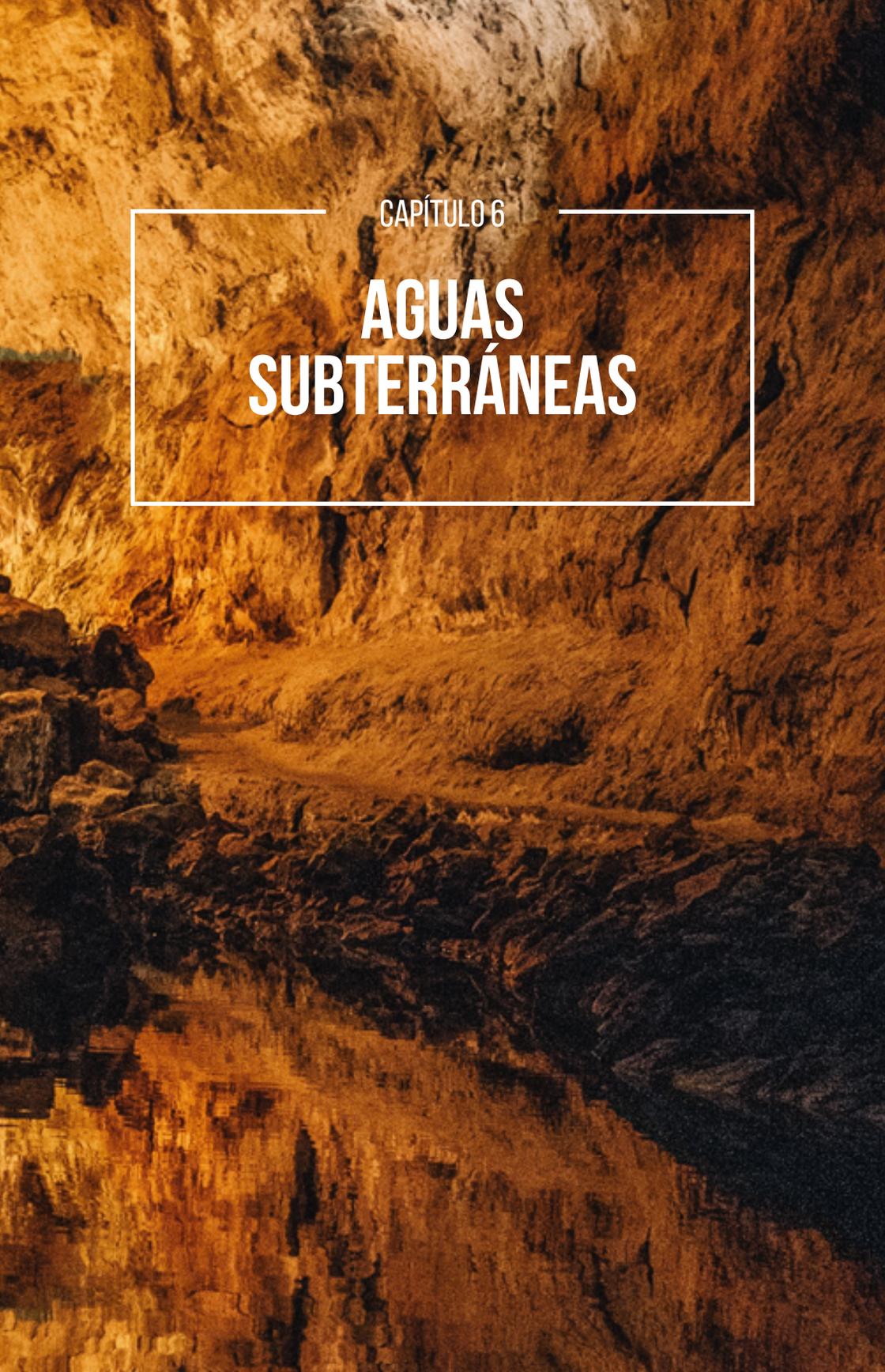
No obstante, a su vez, se encontraron excepciones a nivel regional que muestran un reavance intermitente de algunos glaciares, por ejemplo, en las partes más húmedas de Noruega, en Nueva Zelanda y el Himalaya Occidental. Pero evaluadas globalmente de acuerdo con una escala de tiempo de un siglo, la tendencia predominante es la de un rápido derretimiento y retroceso de este tipo de glaciares.

Según los pronósticos más aceptados en el futuro cercano las temperaturas atmosféricas serán cada vez más altas y un cambio mínimo en la precipitación podría reducir en gran medida la cobertura glaciar cuyas partes más elevadas se encuentran cerca de la altitud actual de la línea de equilibrio, provocando su retroceso o incluso su desaparición.

El otro escenario, el del descenso de temperatura del planeta, está basado en un estudio del Grupo de Investigación Espacial del Observatorio Astronómico del Sol del Pulkovo-San Petersburgo, en la Federación Rusia (31,32). Según este enfoque de la investigación los científicos de San Petersburgo deducen, a partir del estudio de manchas solares, que desde finales de 2014 o principios de 2015, ha comenzado una nueva era de la “Pequeña Edad de Hielo”, y se espera que la fase de enfriamiento profundo para el año 2060 reactivando la acumulación y el avance de los sistemas glaciarios.







CAPÍTULO 6

AGUAS SUBTERRÁNEAS

6.1.- Aspectos generales

Como ya fue mencionado en el capítulo 3, una de las estimaciones más aceptadas (1) indica que en el planeta hay alrededor de 1.386 millones de km^3 de agua, pero solo el 2,5%, es decir, aproximadamente 35 millones de km^3 , es agua dulce; también se evalúa que el 30.6% de esta, unos 10.7 millones de km^3 , se encuentran en estado líquido, pudiendo entonces ser utilizada para el consumo humano y las actividades productivas. Pero el 98% de ese volumen, es decir, la mayor parte del agua dulce disponible en estado líquido, son aguas subterráneas, mientras que las aguas superficiales (ríos y lagos) contribuyen solo con el 2% del agua dulce no congelada existente.



Del total de agua dulce disponible en todo el mundo:



Estado líquido
10.7 millones de km^3
30,6%



Glaciares, nieve o hielo
24.6 millones de km^3
70,4%

Del total de agua dulce disponible en estado líquido:



Aguas superficiales
0.2 millones de km^3
2%

Aguas subterráneas
10.5 millones de km^3
98%

Las aguas subterráneas proveen el agua para bebida a más del 50% de la población mundial, representan el 43% del agua usada para riego en el planeta (2) y son ampliamente utilizadas por la industria. Además, sostienen importantes ecosistemas acuáticos. En el caso de Argentina la extracción de aguas subterráneas para los distintos usos está en el orden del 30% del total (3) y se ha estimado que el 50% del agua utilizada en el abastecimiento de capitales de provincias, ciudades y aglomerados importantes como La Plata, Conurbano de Buenos Aires, Mar del Plata, San Juan, Paraná, Santiago del Estero, Salta y Catamarca proviene de fuentes subterráneas (5). Particularmente en las zonas semiáridas y áridas del país, que ocupan aproximadamente el 70% del territorio continental, y en sectores de la llanura Chaco-Pampeana con ausencia de cursos superficiales, las reservas de agua subterránea tienen un rol fundamental en el abastecimiento de agua para la población y la producción.

Las aguas subterráneas se encuentran alojadas en *acuíferos*, es decir, formaciones geológicas cuyos poros, fisuras o grietas están ocupados por agua que puede circular en cantidad apreciable.

CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

Las formaciones geológicas se clasifican, de acuerdo con su comportamiento hidrodinámico, en:

1. Acuíferos

Son formaciones geológicas con buenas características para almacenar y transmitir el agua, como las arenas, gravas o algunas rocas calizas.

2. Acuitardos

Son formaciones geológicas que tienen buena capacidad de almacenamiento de agua, pero solo permiten una lenta circulación como en el caso de los limos.

3. Acuícludos

Son formaciones geológicas que pueden contener agua, pero la circulación es muy lenta, o nula, por la baja permeabilidad de la formación, como ocurre en ciertos suelos arcillosos.

4. Acuífugos

Son formaciones geológicas que pueden contener agua, pero la circulación es muy lenta, o nula, por la baja permeabilidad de la formación, como ocurre en ciertos suelos arcillosos.

TIPOS DE ACUÍFEROS

Según su comportamiento hidráulico, los acuíferos se clasifican como:

Acuíferos libres

No están limitados arriba por ninguna capa impermeable o de baja permeabilidad y, en consecuencia, el límite superior de la zona saturada con agua del acuífero se encuentra a presión atmosférica y define el nivel freático del acuífero. Por encima de este nivel los poros están ocupados solo parcialmente por agua (zona no saturada).

Acuíferos semiconfinados

Son acuíferos en los que la capa superior o inferior que los limita tiene permeabilidad reducida, pero no extremadamente baja, y pueden recargarse lentamente a través de ella.

Acuíferos confinados

Su parte superior está limitada por una capa impermeable o de muy baja permeabilidad. El acuífero está completamente saturado y la presión del agua es mayor a la atmosférica. Reciben recarga de agua de zonas más alejadas donde la capa superior es permeable y en las que actúan como acuíferos libres.

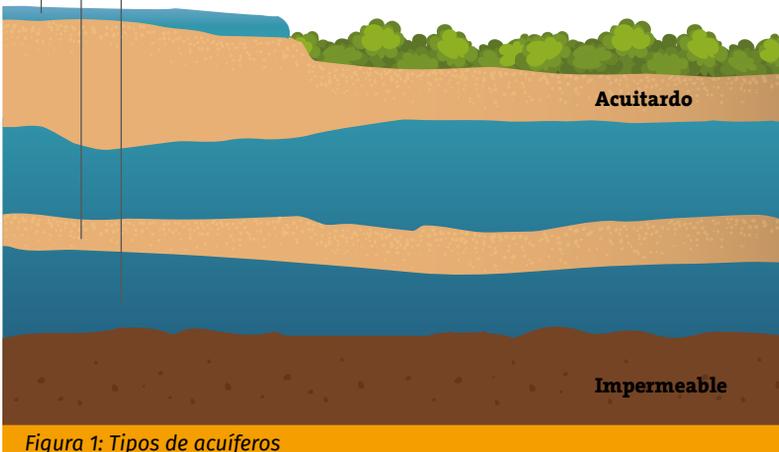


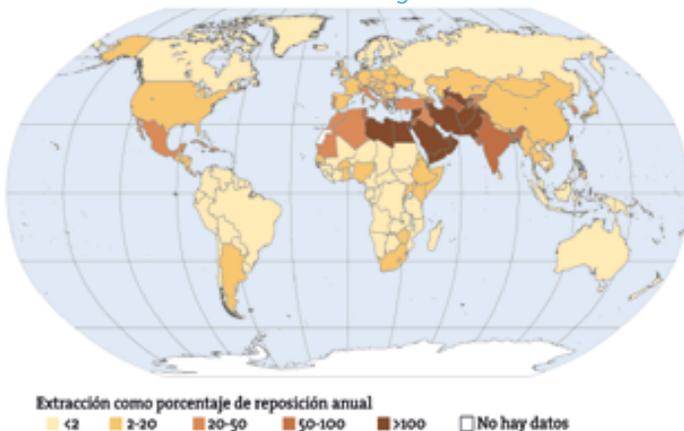
Figura 1: Tipos de acuíferos

6.2.- Aprovechamiento de las aguas subterráneas

Entre 1950 y 1990 se produjo una rápida expansión del uso de las aguas subterráneas en el mundo, que obedeció principalmente a los avances en las técnicas de perforación y el equipamiento para bombeo, al progreso científico que determinó un mejor conocimiento sobre estas aguas y a los menores costos asociados con su potabilización.

La provisión de agua mediante la utilización de fuentes subterráneas resulta, en general, económicamente conveniente debido a su proximidad al área de suministro, a su disponibilidad aún en periodos de escasez de aguas superficiales, y, dada su buena calidad química, a requerir un escaso tratamiento. Pero es importante destacar que los acuíferos son sistemas extremadamente frágiles, ya que una vez agotados o contaminados su recuperación puede durar siglos o requerir procesos de compleja ejecución y muy altos costos. Los acuíferos reciben el agua procedente de las precipitaciones que se infiltra en el terreno y de ríos o lagunas, y se acumula en los poros, fisuras y grietas de los sedimentos o rocas que los constituyen y pueden almacenarla y transmitirla. El flujo de agua procedente de la alimentación externa es la *recarga* del acuífero por lo que, para evitar su agotamiento, la extracción que se realice en el acuífero no debe superar el valor de la recarga. La Figura 2 muestra que en la mayor parte del planeta la explotación de los acuíferos está muy por debajo de su capacidad de recarga aunque existen casos críticos.

Figura 2: Estrés de desarrollo de las aguas subterráneas



6.3.- Grandes acuíferos del planeta

Mediante un convenio de cooperación la UNESCO, la Comisión para el Mapa Geológico Mundial, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, la Agencia Internacional de Energía Atómica y el Instituto Federal Alemán de Geociencias y Recursos Naturales pusieron en marcha, en el año 2000, el Programa Mundial de Mapeo Hidrogeológico (WHYMAP) que identificó los 37 acuíferos más importantes del planeta cuya distribución geográfica e identificación se muestran en la Figura 3 y en la Tabla 1.

Figura 3: Distribución geográfica de los 37 acuíferos principales del planeta

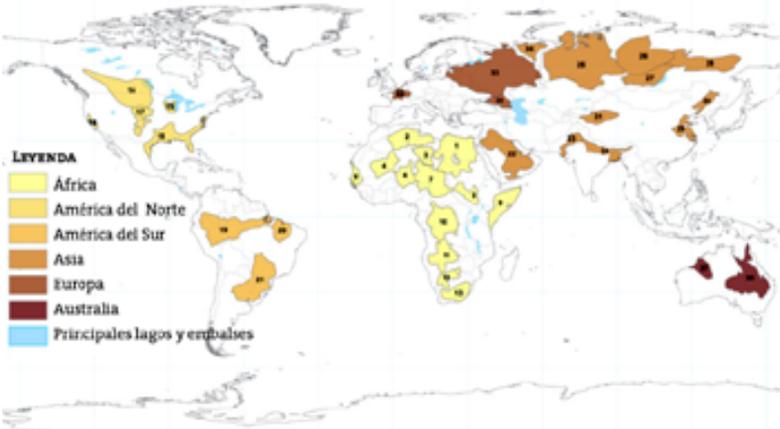


Tabla 1: Principales acuíferos del planeta

Acuífero N°	Nombre
1	Sistema acuífero de Nubia
2	Sistema acuífero del Sahara Noroccidental
3	Cuenca Murzuk – Djado
4	Cuenca Taoudeni – Tanezrouft
5	Cuenca Senegal – Mauritana
6	Sistema acuífero Iullemeden – Irhazer

Continúa en la página siguiente

Acuífero N°	Nombre
7	Cuenca del Lago Chad
8	Cuenca de Sudd
9	Cuenca Ogaden – Juba
10	Cuenca del Congo
11	Cuenca Kalahari Superior – Cuvelai – Zambezi Superior
12	Cuenca Kalahari Inferior – Stampriet
13	Cuenca del Karoo
14	Acuífero de las Grandes Praderas Septentrionales
15	Sistema acuífero Cámbrico – Ordovicio
16	Sistema acuífero del Valle Central de California
17	Acuífero Ogallala
18	Acuífero de las Praderas de la Costa Atlántica y del Golfo
19	Cuenca del Amazonas
20	Cuenca del Maranhao
21	Sistema acuífero Guaraní
22	Sistema acuífero árabe
23	Cuenca del Indo
24	Cuenca del Ganges – Brahmaputra
25	Cuenca de Siberia Occidental
26	Cuenca del Tunguss
27	Cuenca de Angara – Lena
28	Cuenca del Yakut
29	Sistema acuífero de China Septentrional
30	Cuenca del Song – Llao
31	Cuenca del Tarim
32	Cuenca de Paris
33	Cuencas de la Plataforma Rusa
34	Cuenca del Cáucaso Septentrional
35	Cuenca del Pechora
36	Gran cuenca Artesiana
37	Cuenca de Canning

Los tres mayores acuíferos de la Tierra son el Acuífero de Nubia, en el nororiental, la Cuenca Artesiana, en Australia y el Acuífero Guaraní, que se encuentra distribuido entre Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

El Acuífero de Nubia se extiende aproximadamente dos millones de km² en el subsuelo de cuatro países Chad, Egipto, Libia y el Sudán, y tiene gran importancia como fuente de agua potable y de riego. La Cuenca Artesiana abarca 1 700 000 km² y el acuífero Guaraní ocupa un área de 1 090 000 km².

En un trabajo reciente (4), un grupo interdisciplinario, a partir de datos satelitales obtenidos para el período 2003–2013 en el marco de la misión GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) evaluó el grado de estrés hídrico al que están sometidos los principales acuíferos del planeta. Las mediciones que se realizaron desde el satélite corresponden a variaciones locales de la constante gravitatoria que se correlacionan con cambios en la cantidad de agua almacenada en el área. Para concretar la correlación, y ante la falta de suficientes datos *in situ*, se recurrió al uso de modelos generados por el sistema GLDAS (*Global Land Data Assimilation System*) producido en la NASA. El uso de los modelos mencionados y el tipo de aproximaciones involucradas en ellos determinan que el método no puede generar resultados cuantitativamente aceptables. Sin embargo, dentro del rango de error estimado, los valores obtenidos indican, cualitativamente, niveles de riesgo alto para el estrés hídrico de los siguientes casos: Sistema acuífero de Nubia, Sistema acuífero del Sahara Noroccidental, Cuenca Murzuk–Djado, Acuífero de las Grandes Praderas Septentrionales, Sistema acuífero árabe, Cuenca del Indo y Cuenca del Tarim.

6.4.- Aguas subterráneas en Argentina

El territorio argentino contiene abundantes recursos hídricos subterráneos cuya distribución no es homogénea y, por esta razón, es relevante la caracterización del territorio en términos de una zonificación geográfica de sus aguas subterráneas. En este sentido, el detallado análisis realizado por Auge (5) es una ineludible referencia.

La definición de regiones hidrogeológicas propuesta por Auge se basa en la identificación de características o comportamientos distintivos respecto de sus aguas subterráneas donde el término *distintivo* se refiere a la manifestación reiterada y/o fácilmente detectable de alguna característica peculiar y, por lo tanto, no implica un comportamiento homogéneo. Para la definición de los límites de una región hidrológica considera la geología y la geomorfología de la zona, el clima y los aspectos biológicos señalando también que la actividad antrópica es la que genera mayores alteraciones en el comportamiento del recurso hídrico subterráneo.

Sobre la base de considerar la influencia de estos factores en el comportamiento y características de las aguas subterráneas, Auge propuso clasificar las regiones hidrológicas del país en 18 provincias hidrológicas que se muestran en el mapa de la Figura 4 (5).

Entre las regiones hidrogeológicas identificadas se destacan la **Llanura chaco-pampeana húmeda** y la región **Piedemonte y llanura Cuyana** por el grado de aprovechamiento de las fuentes de agua subterráneas alcanzado en ellas. En la primera se encuentra el acuífero más explotado del país, el Puelche, mientras que en la segunda se utilizan intensivamente para riego los importantes reservorios de agua subterránea existentes en los depósitos aluviales de los Ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel y Malargüe.

Figura 4: Regiones hidrogeológicas de la Argentina



6.4.1.- Llanura Chaco–pampeana húmeda. Acuífero Puelche

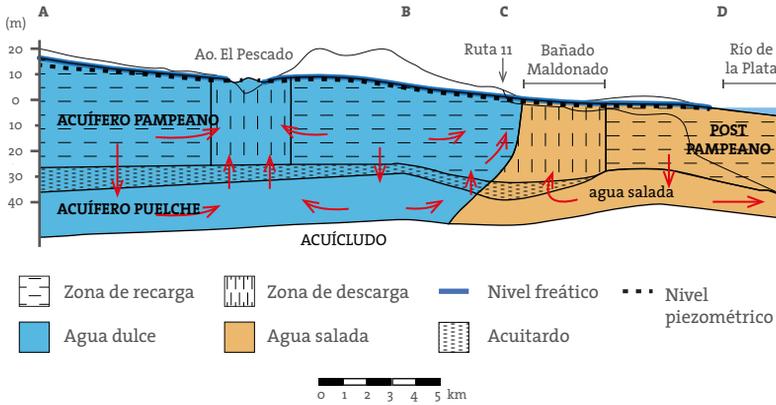
El acuífero Puelche se extiende en el subsuelo de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y Corrientes, y es uno de los más importantes de la Argentina debido a sus reservas, calidad, explotación y diversidad de usos (agua potable, riego e industrial). Se destaca por su accesibilidad, ya que en general se emplaza a menos de 100 m de profundidad y está cubierto por sedimentos fácilmente perforables, lo que determina un costo bajo de las perforaciones de explotación. Se distingue también por la calidad de sus aguas, en general aptas para consumo humano, riego, industria y ganadería, y su productividad con caudales de hasta 150 m³/h en la Provincia de Buenos Aires.

Su extensión es de unos 300 000 km², tiene un espesor que varía entre 20 y 90 metros y almacena aproximadamente 1 200 000 hm³ de agua de buena calidad (10). Es un acuífero semiconfinado constituido por arenas cuarzosas finas a medianas, y limitado en la parte superior por un acuitardo que lo separa del acuífero Pampeano y en la parte inferior por un acuicludo que lo separa del acuífero Paraná.

El acuífero Pampeano actúa como vía para la recarga y la descarga del acuífero Puelche subyacente. En la Provincia de Buenos Aires, el Puelche ocupa en forma continua unos 92 000 Km² en el subsuelo del Noroeste provincial y se estima que almacena aproximadamente 620 000 hm³ (6). Su techo se encuentra a profundidades variables entre 20 y 30 m en el sector Noreste (riberas de los ríos Paraná y de la Plata) hasta 123 m en las proximidades de la ciudad de Junín en el Noroeste provincial. La Figura 5 (7) muestra un corte vertical correspondiente a una localización cercana a la ciudad de La Plata.

El acuífero Puelche es la principal fuente de agua para consumo humano en el conurbano de Buenos Aires y en La Plata, así como en un gran número de poblaciones menores. Está en explotación desde hace más de un siglo y, a lo largo de ese tiempo, ha sufrido impactos significativos en el área metropolitana de Buenos Aires y La Plata. La extracción intensiva motivó la generación de conos de depresión que aceleraron la transmisión de aguas contaminadas desde el acuífero freático. Además, la disminución de carga hidráulica del acuífero determinó, en el sector Costero del Río de la Plata, la intrusión de aguas salinas continentales que yacen bajo la planicie aluvial del río.

Figura 5: Corte vertical del acuífero Puelche en las cercanías de La Plata



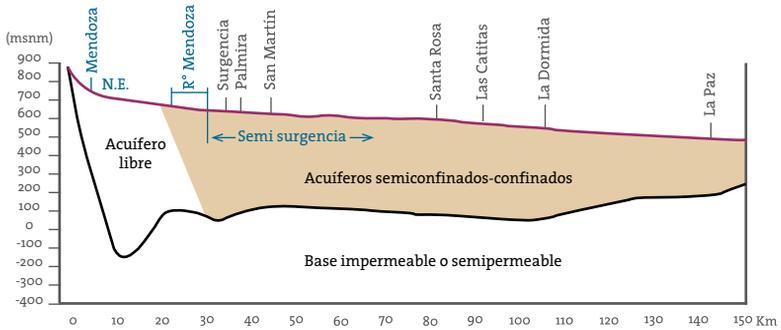
Esta situación obligó a cerrar perforaciones de alimentación y sustituir esa oferta por agua del Río de La Plata. Ello, con el tiempo, permitió la recuperación de los niveles piezométricos y la disminución en la transferencia vertical descendente desde el acuífero Pampeano y el ascenso de los niveles freáticos de este último. Pero ello ocasionó que se inundaran construcciones realizadas por debajo de la superficie (sótanos, estacionamientos, etc.) y anegamientos persistentes que requirieron obras adicionales para su solución.

En las provincias de Entre Ríos y Corrientes, el acuífero Puelche es conocido como Acuífero Ituzaingó y está integrado por arena mediana, fina y gruesa, y gravilla y grava, de origen fluvial. Se lo utiliza para riego, consumo humano e industria.

6.4.2.- Piedemonte y Llanura Cuyana

En esta área de escasas precipitaciones se encuentran importantes acuíferos ubicados en los depósitos aluviales de los ríos que nacen en la Cordillera de los Andes. Estos acuíferos se desarrollan sobre una capa impermeable o de reducida permeabilidad y están constituidos por sedimentos cuya granulometría disminuye a medida que aumenta la distancia a la Cordillera, así en sus proximidades predominan sedimentos gruesos (cantos rodados y gravas), luego se encuentran arenas y en la llanura, limos y arcillas. También disminuye la permeabilidad y aumenta el contenido salino en el mismo sentido (5). Se encuentran acuíferos libres, semiconfinados y confinados.

Figura 6: Perfil de la Cuenca Norte trazado en dirección Oeste-Este (desde la ciudad de Mendoza hasta La Paz, Provincia de Mendoza)



Fuente: Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (2009). Informe: El agua en Mendoza y su problemática ambiental.

En la Provincia de Mendoza se distinguen principalmente las siguientes cuencas hidrogeológicas (11):

- ▶ Cuenca de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior, o cuenca Norte, con una superficie de 22 800 km² y un almacenamiento estimado de 275 000 hm³ de agua (Figura 6).
- ▶ Cuenca del río Tunuyán Superior, o cuenca del Centro, o del Valle de Uco, que abarca una superficie de 3180 km² y almacena aproximadamente 95 000 hm³ de agua.
- ▶ Cuenca de los ríos Diamante y Atuel. O cuenca Sur, que abarca una superficie de 8000 km² y almacena aproximadamente 32 500 hm³ de agua.
- ▶ Cuenca del río Malargüe, con una superficie de 5200 km² y un almacenamiento estimado de 130 000 hm³ de agua.

El agua extraída en las perforaciones se destina en su mayor parte a uso agrícola, y en menor medida al consumo de poblaciones y a los usos industrial y minero.

En la Provincia de San Juan la cuenca subterránea del valle de Tulum alimenta a una importante cantidad de perforaciones para extracción de agua para riego y también proporciona agua para consumo humano. Esta cuenca abarca una superficie de 7830 km² entre acuíferos libres y confinados, y almacena un volumen estimado de 500 000 hm³.

6.4.3.- Acuíferos transfronterizos

6.4.3.1.- El Acuífero Guaraní

Figura 7: Ubicación del Acuífero Guaraní



El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) que se extiende en el subsuelo de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay constituye, como se mencionó previamente, la **tercera reserva mundial de agua dulce subterránea** y, por lo tanto, tiene una gran importancia estratégica para estos países. En 2003, las cuatro naciones suscribieron un acuerdo mediante el cual se puso en marcha el Proyecto para la Protección Ambiental y el Desarrollo Sustentable del SAG (PSAG), en cuya ejecución participaron numerosos expertos representantes de organismos oficiales de los cuatro países.

El informe final del PSAG se publicó en 2008 y, a partir de este, se suscribió el Acuerdo sobre el Acuífero Guaraní que, en el caso de la Argentina, fue aprobado en 2012 por el Congreso de la Nación mediante la Ley 26 780.

Durante la ejecución del PSAG se realizaron estudios técnicos y científicos de apoyo para la adecuada gestión del SAG, que generaron nueva información y análisis diagnósticos que se incorporaron a la base de datos creada. Asimismo, se analizaron los marcos normativos e institucionales vigentes con el objetivo de compatibilizarlos generando protocolos comunes para el manejo del SAG.

Los principales resultados del PSAG fueron los siguientes:

- ▶ Se confirmó la existencia del SAG como un vasto estrato rocoso con características de acuífero que configura un reservorio hídrico cuya extensión superficial se determinó que es de 1 087 879 km² (10% menos de lo estimado previamente).
- ▶ La formación geológica es una estructura única que está presente en el subsuelo de los cuatro países. El agua se recarga, pero la circulación es lenta y está condicionada por barreras hidráulicas y geológicas que condicionan los flujos subterráneos.
- ▶ La calidad del agua, en general, es buena salvo en áreas específicas y no se detectaron problemas de contaminación o de sobreexplotación.
- ▶ Las propiedades físico químicas del agua varían sensiblemente según la región del SAG que se analice. Por ejemplo, los valores de pH medidos van de un mínimo de 5 a un máximo de 9 y las conductividades varían entre 100 y 2500 mS por cm.
- ▶ También se observan en el SAG variaciones hidráulicas importantes, con niveles estáticos que van desde 0 hasta 200 m, y de temperatura, que muestra un rango de 18°C a 50°C.
- ▶ La intensidad de explotación del SAG es también muy variable; en amplias áreas la extracción es prácticamente

nula en tanto que, en algunos casos, en una zona de 500 km² se extraen 30 000 m³ por día.

- ▶ En los casos en que el uso del SAG implica zonas limítrofes entre países los efectos transfronterizos están limitados a una franja de pocos kilómetros.
- ▶ Se concluyó que algunas actividades pueden causar impactos que van más allá de lo estrictamente hidráulico. El cambio de usos del suelo en zonas de recarga son áreas potenciales para una cooperación específica y diálogo entre los países. Los procesos de cambio detectados por el proyecto son: deforestación, inversión en plantaciones forestales, uso de técnicas agrícolas de alto consumo de agua, uso intensivo e inadecuado de agroquímicos y sobreexplotación de aguas termales.

Un primer resultado de las actividades del PSAG fue la actualización simultánea, en los cuatro países, de las normas vinculadas a la explotación de aguas subterráneas.

6.4.3.2.- Sistema Acuífero Yrendá Toba Tarijeño

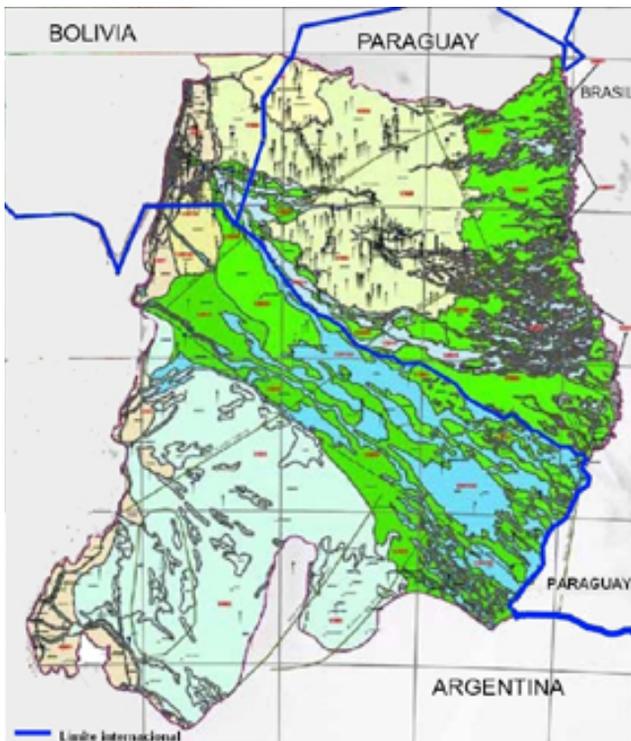
El Sistema Acuífero Yrendá Toba Tarijeño (SAYTT) se desarrolla en el Noroeste de Argentina, Oeste de Paraguay y Sureste de Bolivia en una superficie estimada de 352 000 km², lo que representa aproximadamente el 40% de la superficie del Chaco Sudamericano. De esta superficie, el 57% se encuentra en territorio argentino, 34% en territorio paraguayo y 9% en territorio boliviano. Es un sistema de gran importancia regional ya que podría satisfacer las necesidades derivadas de la extrema escasez de agua que presenta una zona de clima semiárido a sub-húmedo. Este recurso se utiliza para consumo humano, riego y ganadería.

El SAYTT está constituido por acuíferos libres poco profundos y confinados/semiconfinados profundos, siendo estos últimos los más importantes del Chaco paraguayo y argentino, ya que almacenan grandes volúmenes de agua de buena calidad, que pueden ser aprovechadas económicamente.

Los grandes ríos que surcan la planicie chaqueña (Pilcomayo, Bermejo, Juramento, Dulce, etc.) proporcionan geofomas en las cuales se desarrolla un sistema de acuíferos que desde el oeste a este pasan de libres a confinados. Su espesor es variable y puede llegar a 200 metros.

Por debajo de estas geofomas modernas, en los sedimentos Terciarios se encuentran niveles de agua dulce y otros de agua salada. En el límite interprovincial Salta/Formosa (sobre el sector argentino) existe un acuífero de agua dulce entre los 325 a los 385 metros de profundidad recientemente descubierto, debajo de una secuencia de niveles de agua salada (9).

Figura 8: Ubicación del Sistema Acuífero Yrendá Toba Tarijeño



6.5.- Composición química de las aguas subterráneas

La composición química del agua de lluvia que se filtra en el suelo se modifica durante su desplazamiento en los sedimentos o rocas fracturadas. Dicha modificación depende de distintos factores como el tipo de minerales con los que entra en contacto, y la duración de dicho contacto, así como de las condiciones de presión y temperatura; por ello, la calidad del agua subterránea puede variar aún dentro del mismo acuífero.

Así, las aguas pueden salinizarse por contacto con sedimentos marinos y salinos, o yacimientos metalíferos (plomo, zinc, cobre, plata, etc.), no metalíferos o radiactivos; o incorporar arsénico a partir de sedimentos de origen volcánico.

El análisis de una muestra de agua extraída de una perforación realizada en la Meseta Central de la Patagonia, en una zona alejada de la actividad antrópica, arroja la siguiente composición:

Tabla 2: Concentración de iones en una muestra de agua

Ion	mg/L	Ion	mg/L	Ion	mg/L
Calcio	180,12	Nitrito	0,003	Mercurio	--
Cloruro	13,94	Potasio	3,74	Molibdeno	0,0011
Magnesio	14,42	Antimonio	0,00006	Níquel	0,0011
Sodio	59,32	Arsénico	0,065	Oro	0,00003
Sulfato	74,80	Bario	0,0057	Paladio	--
Aluminio	1,21	Berilio	0,00011	Plata	0,00003
Amonio	0,38	Cadmio	0,0058	Plomo	0,014
Boro	0,132	Cobalto	0,00586	Selenio	0,0005
Fluoruro	2,294	Cobre	0,0383	Uranio	0,00178
Hierro	197,72	Cromo	0,00752	Vanadio	0,0049
Nitrato	1,325	Manganeso	1,748	Zinc	0,1124

A partir de estos resultados se observa que el agua extraída en la perforación no es apta para consumo humano con tratamiento convencional de acuerdo con lo establecido en el decreto 831/93

que reglamenta la Ley 24 051 sobre Residuos Peligrosos ya que las concentraciones de arsénico, cadmio, fluoruro, hierro y manganeso superan los límites fijados.

El acuífero del cual se tomó la muestra está contaminado sin que esa contaminación pueda adjudicarse a causas antrópicas y, por lo tanto, se debe concluir que el agua del acuífero estuvo o está en contacto con rocas y suelo que contienen elementos contaminantes que son lixiviados y se disuelven en ella. Este tipo de contaminación, por causas naturales, puede ser grave, según sea el grado de toxicidad del contaminante.

En Argentina el problema de contaminación natural más grave que se debe enfrentar es el de las aguas que contienen arsénico ya que este metal está presente en concentraciones inaceptables en muchas de las fuentes de agua subterránea existentes. La mayor parte del arsénico contenido en el agua subterránea de nuestro país tiene origen natural, producto de la disolución de minerales vinculados a las erupciones volcánicas producidas principalmente en la Cordillera de los Andes en los últimos 5 millones de años. El principal agente de transporte desde la Cordillera hacia el Este, hasta alcanzar a la Llanura Chaco-pampeana fue el viento, que produjo la acumulación del Loess Pampeano, en el que se intercalan cenizas y vidrio volcánicos que contienen minerales cuya disolución generó la presencia de arsénico en las aguas subterráneas.

La ingesta de arsénico por el ser humano produce una patología conocida como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE). El Código Alimentario Argentino, en coincidencia con lo propuesto por la Organización Mundial de la Salud, establece que el máximo aceptable para la concentración de arsénico en agua potable es de 0,01 mg/L, pero ese límite aún no ha entrado en vigencia.

Un mapa provisorio elaborado por el INTI en 2009 sobre la distribución de arsénico en aguas subterráneas se muestra en la Figura 9.

Recientemente se ha elaborado un mapa para la Provincia de Buenos Aires que ilustra claramente la gravedad del problema y que se reproduce en la Figura 10 (8).

Figura 9: Distribución del arsénico en aguas subterráneas

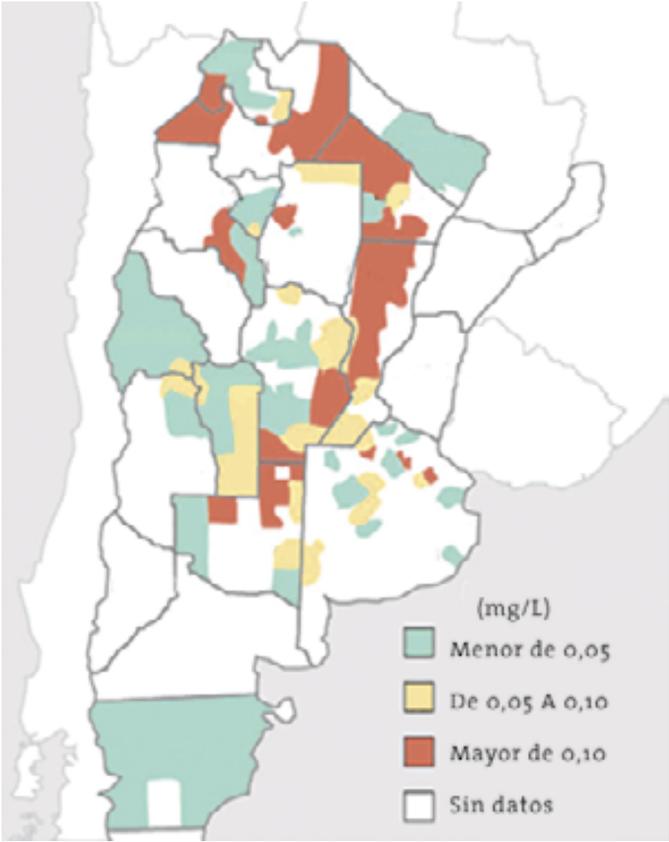
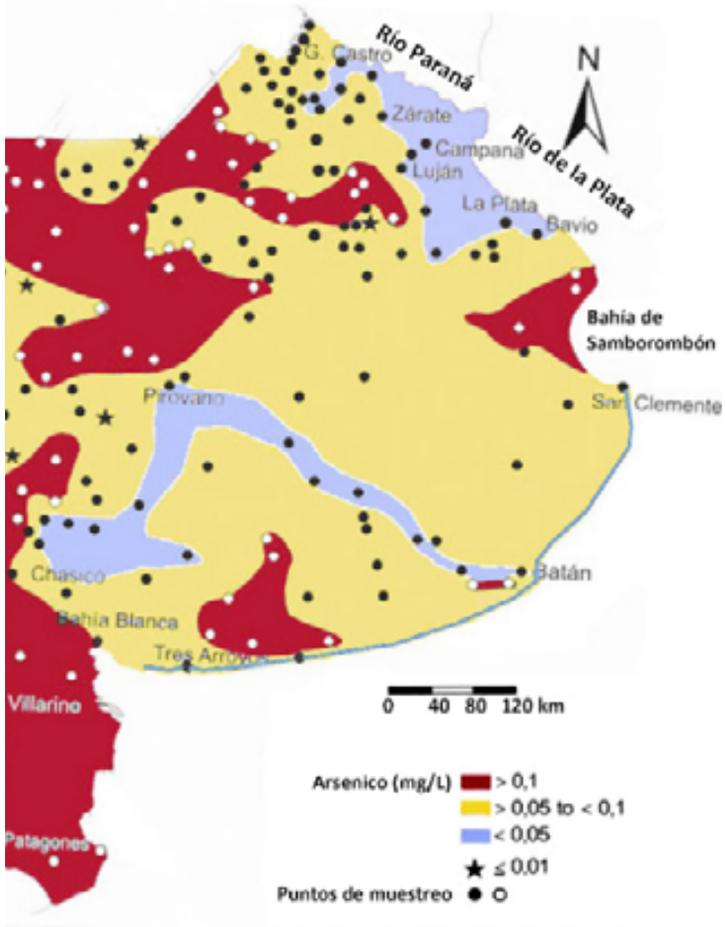


Figura 10: Mapa del arsénico en aguas subterráneas en la Provincia de Buenos Aires



Fuente: Auge M.P. y Litter M. (2019) en Congreso Internacional sobre Arsénico en el Ambiente. Buenos Aires, Argentina.



An aerial photograph of a large, calm reservoir surrounded by dense green forest. The water is a deep blue-green color, and the forest is lush and vibrant. The sky is clear and blue. The text is overlaid on the image, centered in the upper half.

CAPÍTULO 7

**CONTROL DE
LA DESCARGA
DE EFLUENTES
INDUSTRIALES EN
CUERPOS DE AGUA
SUPERFICIALES**

7.1.- Introducción

El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente en aguas superficiales es un problema a nivel mundial que tiene consecuencias nocivas sobre la salud humana y los ecosistemas. En efecto, los efluentes comprometen la calidad del agua que se utiliza como fuente para suministro a la red pública y, entre otros perjuicios, ponen en riesgo la salud de las poblaciones que residen en las costas, afectan la fauna íctica y perjudican el desarrollo de actividades recreativas.

La composición de los efluentes es muy diversa, según el tipo de industria que los genera, y pueden contener distintas sustancias químicas, así como también fauna microbiana. Los procesos físico-químicos que se producen como consecuencia de estos vertidos deterioran los cuerpos de agua receptores. En el caso de la descarga de efluentes crudos de la industria de la alimentación las reacciones de degradación de la materia orgánica consumen grandes cantidades de oxígeno, lo que lleva a la muerte de numerosas especies.

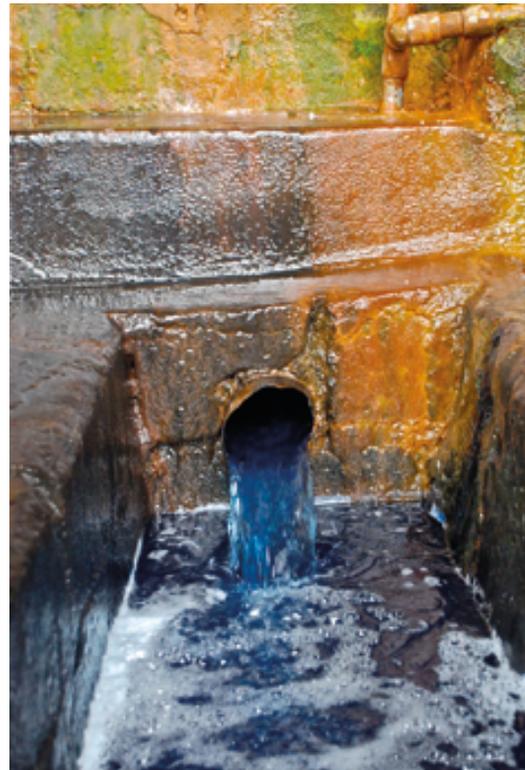
Por su parte, la presencia de sustancias tóxicas en los efluentes ha provocado graves consecuencias para la salud de las poblaciones expuestas a sus efectos. En el caso de efluentes con mercurio existe un antecedente particularmente grave como fue la intoxicación masiva por mercurio producida en poblaciones de pescadores de la Bahía de Minamata, en Japón, en la década de los años 50. En este caso, el complejo de plantas químicas de la Chisso Corporation descargó durante años efluentes que contenían bajas concentraciones de metil mercurio. El mercurio se fue acumulando a lo largo del tiempo en peces y mariscos de la Bahía y la población que los consumía desarrolló una patología neurodegenerativa, que fue identificada como la enfermedad de Minamata, con consecuencias terribles para más de 10.000 personas. Por otra parte, en las curtiembres, los compuestos de cromo trivalente, los sulfuros y las altas cargas orgánicas que se vierten al cuerpo de agua, cuando los efluentes están deficientemente tratados, generan serios efectos a la salud y al ambiente.

La importante contribución de la actividad industrial al bienestar humano debe concretarse minimizando los riesgos sanitarios y ambientales asociados a las descargas de sus efluentes. Para ello, la industria dispone en la actualidad de una amplia variedad de instrumentos tecnológicos, de capacitación y de gestión. **En los proyectos**

industriales se debe trabajar con la premisa de reducir a un mínimo los niveles de la contaminación en todas las etapas, desde su concepción, su diseño, la puesta en marcha y posterior funcionamiento. Del mismo modo, los establecimientos existentes deberán realizar los esfuerzos que sean necesarios para lograr el mismo objetivo.

Por otra parte, se hace necesario desarrollar normativas técnicas ambientales, establecer claramente los mecanismos de control a aplicar, y fijar los resortes institucionales que aseguren que esos controles se lleven a cabo de acuerdo con las pautas técnicas y con las frecuencias previstas en cada caso. Entre estos aspectos es importante establecer la obligatoriedad de obtención de permisos de descarga de efluentes por parte de cada establecimiento, esta habilitación y su correspondiente actualización periódica es la herramienta fundamental aplicada en la legislación internacional.

En este capítulo se expondrán diferentes aspectos relacionados con el control del vertido de efluentes desde fuentes puntuales en cuerpos de agua superficiales, incluyendo prácticas para reducir el volumen y concentración de los efluentes; descripción somera de los procedimientos y regulaciones de vertidos que se aplican en distintos países; promoción de la participación de la comunidad; inspección y nuevas estrategias de control.



7.2.- Permisos y mecanismos preventivos para la reducción de la contaminación

Numerosa legislación internacional, tanto europea como de los Estados Unidos, requiere que en el permiso de descarga de efluentes que se otorga a las empresas se desarrolle e implemente un plan de buenas prácticas de gestión que contenga la instrumentación de acciones o procedimientos preventivos para reducir las descargas de contaminantes al agua, de forma de reasegurar el cumplimiento de la normativa de vuelco.

Todo plan dirigido a optimizar procesos u operaciones de una instalación debe estar enfocado a que se evite o se minimice la generación y la potencial liberación de contaminantes. Específicamente, pueden considerarse distintos aspectos, como el control de escorrentías, pérdidas y fugas; la optimización del almacenamiento y manipulación de materias primas, insumos y residuos; la incorporación de mejoras en las operaciones de carga y descarga; la sustitución de sustancias por otras de baja toxicidad; mejoras en los programas de mantenimiento preventivo; las buenas prácticas de orden y limpieza; la capacitación.

En el pasado reciente, las mejores prácticas de gestión estaban asociadas a medidas de orden y limpieza y técnicas para evitar el contacto entre los contaminantes y el agua como resultado de pérdidas, fugas, y disposición impropia de residuos; hoy se incluye en los permisos todo un rango de opciones, donde se



comprenden modificaciones de procesos, cambios operativos y sustitución de materiales.

Actualmente, algunos países promueven que en las normativas vinculadas a los permisos de vuelco se exija, cuando sea técnica y económicamente factible, la eliminación o reducción de la contaminación en la fuente, y cuando esto no sea posible, las corrientes contaminantes deberían ser reusadas o recicladas, finalmente, como último resorte si no se pueden aplicar las practicas anteriores, los efluentes deben tratarse y disponerse convenientemente.

Si bien la implementación del Plan de Gestión que se exige dentro del Permiso de Vuelco está encaminada a colaborar con el cumplimiento de las regulaciones ambientales estatales, también nos sirve para comprender que **el tratamiento de los efluentes y el control de la contaminación comienza en el inicio de la línea productiva y operativa** de la fábrica o de las instalaciones de servicio.

Por ello es importante que no solo se impulsen acciones con el objetivo del control de la contaminación, sino también extender el concepto preventivo y sujetarlo a la racionalización del uso de los recursos. Esta mirada permite advertir que podrían disminuirse los costos de producción por unidad producida, considerando, por ejemplo, los ahorros por el menor consumo de agua, la recuperación de materiales, la disminución de uso de insumos y materia primas, la disminución de cargas tóxicas, la disminución de cargas orgánicas, y también por la optimización del comportamiento del tratamiento de efluentes y del consumo de energía.



ALGUNAS MEDIDAS DE EFICIENCIA Y CONTROL

A modo de ejemplo, se detallan algunas medidas que pueden aplicarse en los establecimientos para conseguir la eficiencia de uso de recursos y la disminución de impactos desde el punto de vista del accionar preventivo.

Acciones para minimizar el recurso agua

- ▶ Optimización de la tecnología utilizada en producción para consumir menores caudales de agua.
- ▶ Control de pérdidas, fugas por cañerías, mangueras, bombas.
- ▶ Control de desbordes de tanques de agua.
- ▶ Recuperación de los condensados, recirculación de purgas de calderas.
- ▶ Recuperación de las aguas de últimos enjuagues de lavado de los equipos, reutilización como aguas de primer lavado.
- ▶ Lavados de equipos y pisos a alta/media presión para disminuir los caudales de agua utilizada. Realizar la primera limpieza en seco. Barrido en seco de los pisos.
- ▶ Segregación de las escorrentías pluviales no contaminadas, de las corrientes residuales de proceso, a los fines que no arriben aguas limpias a la planta de tratamiento.
- ▶ En el lavado de fábrica, cortes automáticos de mangueras, presión suficiente de salida para la disminución del caudal utilizado.
- ▶ Recuperación de las purgas, mejora en la eficiencia del ciclo de purgados, tanto para calderas como para torres de enfriamiento.
- ▶ Recuperación de aguas condensadas de las líneas de vapor.
- ▶ Recirculación de agua de sello de bomba.

Acciones para el control de la carga de materiales en los efluentes y su toxicidad

- ▶ Optimización de los procesos productivos, mejoras en el control de las variables de proceso, como temperatura, agitación.
- ▶ Adecuada selección de insumos y materia prima en la producción a los fines de disminuir la salida de residuales.
- ▶ Sustitución de uso de sustancias con alta carga tóxica, que podrá influir en el tratamiento de efluentes y en los valores de los vuelcos.
- ▶ Utilización de tecnologías modernas que permitan menor generación de residuales.
- ▶ Mantenimiento de pendientes y diámetros adecuados de las tuberías para facilitar su limpieza y evitar taponamientos.
- ▶ Conformación de trampas de grasas y aceites para evitar que estos materiales ingresen a las conducciones que se destinan al tratamiento de las aguas residuales.
- ▶ Instrumentación de sistemas para el control de pérdidas, derrames, fugas, desbordes de tanques.
- ▶ Optimización de los métodos de lavados de equipos, utilización de detergentes, sustancias ácidas, básicas en dosis controladas y ajustadas. Posibilidad de recuperación parcial de los líquidos de limpieza.
- ▶ Mejora en el lavado de planta, primer lavado en seco, recolección de sólidos por barrido, antes de limpieza con agua. Optimización de la cantidad de insumos empleados para limpieza, empleando sustancias no tóxicas, detergentes biodegradables y desinfectantes.
- ▶ Separación, dentro de lo posible, de los procesos sucios con alta carga de contaminación de los procesos limpios de baja carga. Utilización de técnicas diferenciadas para distintas corrientes de efluentes que tienen tratamientos diferentes.
- ▶ Segregación de las corrientes con materiales contaminantes, de forma de posibilitar su recuperación.
- ▶ Evaluar la posibilidad de reutilización *ex situ* por parte de otras industrias de las corrientes líquidas residuales generadas.
- ▶ Capacitación constante en lo referido a control de pérdidas.

7.3.- Control del vertido de efluentes en Canadá. Caso particular de la industria de pulpa y papel

En Canadá, las normas nacionales para el tratamiento de aguas residuales se establecen como regulaciones de la Ley de Pesca. Esta ley tiene como objetivo proporcionar un marco para la gestión y el control adecuados de la pesca, y la conservación y protección de los peces y su hábitat, incluida la prevención de la contaminación.

Para cumplimentar estos objetivos, entre las regulaciones derivadas de la ley se encuentran:

REGULACIONES DERIVADAS DE LA LEY DE PESCA	Efluentes líquidos vegetales de productos cárnicos y avícolas.
	Efluentes de minería de metales y diamantes.
	Efluentes líquidos de refinería de petróleo.
	Efluentes líquidos de la planta de procesamiento de papa.
	Efluentes de pulpa y papel.
	Efluentes de sistemas de aguas residuales.

En cada una de estas regulaciones se establece un conjunto de sustancias que se consideran nocivas y que están vinculadas a la actividad específica que se reglamenta.

A modo de ejemplo, y considerando que la industria de la pulpa y el papel en Canadá es una de las industrias más importantes y rentables del país, haremos un análisis particular de la normativa que regula los efluentes de esta industria.

La industria del papel genera casi el 40% del volumen de descargas de efluentes en el sector manufacturero canadiense y casi el 80% recibe tratamiento secundario o biológico.

El control de las descargas de efluentes de las fábricas de pulpa y papel es efectuado tanto por la autoridad federal como por la provincial. Las provincias tienen autoridad bajo sus diversos estatu-

tos ambientales, mientras que el gobierno federal tiene autoridad bajo la Ley de Pesca y también por la Ley de Protección Ambiental de Canadá (CEPA), que le otorgó autoridad para controlar las sustancias tóxicas.

Las Regulaciones vigentes sobre efluentes de pulpa y papel (PPER) se aplican a todas las fábricas de pulpa y papel en Canadá. El objetivo del PPER es proteger a los peces, su hábitat y la salud humana por el consumo de pescado al limitar las concentraciones de sustancias nocivas en los efluentes. El PPER establece límites en las cantidades de materia capaz de consumir oxígeno disuelto y en la cantidad de sólidos en suspensión y prohíbe las descargas de efluentes que sean tóxicos agudos para los peces. Los límites en la cantidad materia que consume oxígeno disuelto y de sólidos en suspensión que pueden contener los vertidos resultan de fórmulas en las que interviene la tasa de producción de referencia de la fábrica para todo el producto terminado. Este es un punto a señalar ya que, por una parte, la descarga de materia orgánica representa el mayor volumen individual de un contaminante y, por otra, la cantidad admisible en el efluente no tiene un valor fijo, sino que puede variar según sea la tasa de producción.

El PPER también requiere que las fábricas de pulpa y papel realicen estudios de monitoreo de efectos ambientales (EEM) en el sitio de descarga, para identificar e investigar los posibles efectos del efluente de la fábrica en los peces, el hábitat de los peces y el uso de los recursos pesqueros.

Entre las condiciones impuestas por la regulación en la autorización del vuelco pueden mencionarse las siguientes: instalar, mantener y calibrar equipos de monitoreo; monitorear el efluente; presentar informes mensuales de resultados de monitoreo y de producción; preparar y actualizar planes de remediación y planes de respuesta a emergencias; informar sobre las estructuras de vertido y realizar estudios de monitoreo de efectos ambientales.

El monitoreo de efluentes consiste en la toma de muestras del efluente, una vez por semana, para realizar pruebas de letalidad y el efecto sobre especies determinadas y, diariamente, para evaluar la cantidad de materia demandante de oxígeno disuelto y los sólidos en suspensión. Además, se debe determinar el volumen

diario del efluente que se vuelca en el cuerpo receptor y se realizan mediciones continuas de pH y conductividad eléctrica. El reglamento establece distintas frecuencias para la realización de los ensayos correspondientes sobre las muestras extraídas.

Se declara que un efluente tiene toxicidad agua cuando más del 50% de las truchas arco iris expuestas a este durante un período de 96 horas bajo condiciones de prueba especificadas por la norma muere. El plan de gestión debe describir las medidas a adoptar para eliminar en forma controlada todos los efluentes con sustancias nocivas que no superen las pruebas de letalidad aguda.

El plan de respuesta a emergencias debe describir las medidas que se tomarán para evitar o mitigar cualquier descarga de una sustancia nociva fuera del curso normal de los eventos o para mitigar los efectos de la misma; incluyendo identificación de descargas y su potencial daño; medidas a adoptar; lista de personas que implementan el plan y sus responsabilidades; entrenamiento; equipo a emplear y su ubicación; procedimientos de alerta; notificación al público.



7.3.1.- Estudios de monitoreo de efectos ambientales

La PPER establece también que el propietario u operador de una fábrica deberá realizar estudios de monitoreo de los efectos ambientales de los posibles efectos del efluente en la población de peces, en el tejido de los peces y en la comunidad de invertebrados bentónicos. Estos estudios consisten en pruebas de toxicidad subletal del efluente y estudios de monitoreo biológico para determinar el efecto en los peces, su hábitat o en el uso de los recursos pesqueros. A partir de los datos obtenidos en estos estudios es posible construir un sistema iterativo de fases de monitoreo e interpretación que permite evaluar la efectividad de las regulaciones y, en su caso, proponer modificaciones, aceptando que **los estándares nacionales basados en estudios de laboratorio no necesariamente garantizan una protección adecuada del ecosistema acuático en cada sitio de descarga debido a la diversidad y variabilidad de las descargas y de las características de los sitios receptores en todo el país**. De este modo, la regulación trasciende la simple medición de productos químicos en efluentes en el punto de descarga de la tubería e incorpora la evaluación de la efectividad de las medidas de protección ambiental directamente en los ecosistemas acuáticos.

Las pruebas de toxicidad subletal monitorean la calidad de los efluentes midiendo los puntos finales de supervivencia, crecimiento o reproducción en plantas marinas o de agua dulce y organismos invertebrados en un ambiente de laboratorio controlado.

Los estudios de monitoreo biológico se realizan en ciclos de tres o seis años. Tienen el objetivo de describir la magnitud y extensión geográfica de los efectos, determinar sus causas e identificar posibles soluciones para eliminar los efectos. Para evaluar los efectos, se realizan estudios de monitoreo biológico para tres componentes:

- ▶ Un estudio de la población de peces para evaluar los efectos sobre la salud de los peces.
- ▶ Un estudio de la comunidad de invertebrados bentónicos para evaluar el hábitat o la alimentación de los peces.
- ▶ Un estudio sobre el tejido de los peces para evaluar la posibilidad de uso humano de los recursos pesqueros.



7.3.2.- Participación pública en los estudios de monitoreo de efectos ambientales

El Gobierno de Canadá, a través de su organismo ambiental, recomienda a los establecimientos fabriles facilitar la participación pública en una amplia gama de actividades de estudios de monitoreo de efectos ambientales, con el objetivo de asegurar que las decisiones que se tomen sean resultado de una consulta informada, inclusiva y justa con el público.

Se entiende que “el público” no es un grupo homogéneo y que dentro del “público” puede haber varias partes interesadas diferentes, cada una con diversos intereses y preocupaciones; y “parte interesada” se define como cualquier persona o grupo que tiene un interés, se ve afectado o se interesa en una cuenca hidrográfica donde opera un establecimiento, o tiene un papel en la toma de decisiones relacionada con esa cuenca.

La participación pública efectiva en los estudios de monitoreo de efectos ambientales ha mostrado efectos positivos en:

- ▶ Mejoras en el diseño de los Estudios.
- ▶ Mejora en la toma de decisiones de estos Estudios.
- ▶ Mayor relevancia de los Estudios.
- ▶ Mayor grado de confianza entre todas las partes y relaciones laborales mejoradas.
- ▶ Mayor conciencia y comprensión de los problemas de estos Estudios.
- ▶ Mejora de la comunicación entre las partes interesadas.

7.4.- Control del vertido de efluentes en Estados Unidos

En los Estados Unidos de Norteamérica, **los permisos de descarga de efluentes a los cuerpos de agua superficiales son otorgados generalmente por los Estados en el marco del Programa que propone el Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES)**. Este programa está regulado y supervisado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Los estándares de calidad mínimos del agua son fijados por la Agencia, siendo los propios Estados los que establecen, siempre que tengan la facultad delegada, requisitos más estrictos.

Los permisos o licencias de descarga NPDES se emiten tomando en cuenta las características específicas del sitio de vuelco, ya que consideran el impacto de la descarga propuesta sobre la calidad de agua del cuerpo receptor en relación con los Estándares de Calidad del Agua (WQS). En el permiso NPDES se especifican los límites de efluentes para garantizar que en dicho cuerpo receptor no se excedan dichos Estándares.

El alcance de aplicación del NPDES es sobre las descargas a partir de fuentes puntuales, sean éstas de origen agrícola, domésticas o industriales. En grandes términos, su aplicación está dirigida a las descargas de plantas municipales (plantas de tratamiento de propiedad pública) y a las descargas de instalaciones no municipales (no públicas). La regulación incluye, dentro de las primeras, las descargas propias de plantas públicas/municipales, las descargas indirectas industriales y su pre-tratamiento antes de la planta de tratamiento municipal, el uso y disposición de biosólidos, las aguas pluviales canalizadas y otras descargas como, por ejemplo, desbordes de los sistemas cloacales.

Dentro del área no pública, la regulación se aplica a las descargas con origen en procesos industriales, descargas industriales de otros orígenes, las pluviales asociadas con la actividad industrial, pluviales originadas en construcciones, operaciones de cría intensiva de animales y la producción intensiva de fauna acuática.

7.4.1.- Limitaciones a la descarga de efluentes

Los elementos que constituyen todos los permisos comprenden, en primer término, las limitaciones a la descarga de efluentes, utilizando para ello, por un lado, criterios basados en la tecnología aplicable y, por otro, los basados en los estándares de calidad de agua. El permiso incluye también todo lo relacionado al monitoreo del sistema, sus registros y reporte de datos y describe las condiciones especiales que deben cumplir los mismos y las instalaciones, así como la solicitud de monitoreos adicionales, estudios especiales, incorporación de mejores prácticas.

El primer paso en el desarrollo del proceso del permiso es la determinación de los límites de los efluentes, calculados sobre la base de las tecnologías de tratamiento disponibles y de los niveles de descarga necesarios para alcanzar estándares de protección ambiental de la calidad del agua. Del análisis de ambos criterios, se establecen las condiciones que debe cumplir el efluente.

Límites basados en la capacidad tecnológica

Los límites propuestos a la descarga de efluentes pueden ser fijados teniendo como base las capacidades de las tecnologías disponibles para controlar esas descargas. Estos límites tecnológicos buscan prevenir la contaminación requiriendo un nivel mínimo de la calidad del efluente que es alcanzable usando tecnologías demostradas para reducir la descarga de contaminantes a las aguas receptoras. Estos límites se desarrollan independientemente de los potenciales impactos de la descarga en los cursos de aguas receptoras.

El desarrollo de los límites basados en la tecnología pueden dividirse en dos líneas. La primera se establece para los líquidos que se descargan de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales y plantas públicas de tratamiento (POTW), a las que llegan líquidos de origen industrial previamente tratados, cloacales y mixtos. En estos casos los límites basados en tecnología, se expresan sobre los niveles de tres parámetros: demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y pH. Los estándares de performance están desarrollados para una combinación de tratamientos físicos y biológicos y tratamiento secundario para la remoción de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos.

Por otra parte, se encuentran los límites regulatorios a las descargas de efluentes industriales basados en criterios tecnológicos. Para ello la EPA establece directrices de efluentes, donde se fijan niveles de parámetros específicos que se permiten en las aguas industriales descargadas de los establecimientos, para diferentes categorías industriales. Estos niveles se obtienen a partir de estudios realizados en distintas categorías de instalaciones industriales, en los que se evalúan los niveles de descarga de cada contaminante que se pueden alcanzar utilizando el grupo de técnicas disponibles más rentables para la prevención y el control de la contaminación aplicables a esa categoría de instalaciones. Esta directriz puede incluir límites numéricos o narrativos, como también incluir mejores prácticas de gestión para controlar la descarga de contaminantes de las distintas categorías de una fuente puntual.

Los estándares deben ser alcanzados por todas las descargas de cada categoría industrial, teniendo en cuenta que no se consideran las características del cuerpo receptor. Los requerimientos de la directriz pueden ser límites numéricos en masa o concentración de algún contaminante que se descarga y a su vez pueden estar expresados en descarga en unidades de masa de contaminante por unidad de producción; inclusive se utilizan elementos narrativos. La mayoría de los límites incluye los máximos diarios y los promedios mensuales permitidos.

Los límites para las fuentes nuevas son con frecuencia más rigurosos que los de las fuentes existentes, ya que las nuevas instalaciones pueden emplear más opciones para construir sistemas de prevención de contaminación dentro de sus procesos en la planta.

Límites basados en la calidad del agua del cuerpo receptor

El permiso de descarga NPDES debe considerar el impacto que produce el efluente en la calidad del agua del cuerpo receptor. Esta calidad está definida por los estándares estatales de calidad del agua. Puede suceder que los límites fijados a las descargas de los efluentes basados en la tecnología no logren satisfacer los estándares de calidad de agua aplicables. La reglamentación exige en tales casos el desarrollo de límites más estrictos para las descargas, basados ahora en el cumplimiento de los niveles de

calidad del agua del cuerpo receptor lo que permite mantener la integridad química, física y biológica de las aguas.

Los Estados asignan para sus aguas jurisdiccionales —los cuerpos receptores— determinados usos, como por ejemplo aguas para el suministro público, para la propagación de peces y vida silvestre, para recreación, agricultura, fines industriales y navegación. **Para cada uno de los usos asignados los Estados desarrollan, sobre bases científicas, los estándares de calidad, un conjunto de criterios que posibilitan que el uso correspondiente pueda mantenerse.**

Las limitaciones de vuelco deben corresponderse con el cumplimiento de los estándares de calidad del agua fijados con las consideraciones de estos criterios, utilizándose en todos los casos los más estrictos.

Los Estados pueden definir una zona de mezcla del efluente descargado y el agua receptora: un área o volumen limitado de un cuerpo de agua donde se produce la dilución inicial de una descarga y dentro de la cual se permite que algunos estándares de calidad del agua sean excedidos.



En este caso los permisos pueden establecer, en condiciones críticas, el margen máximo de dilución o la zona de mezcla permitida por los estándares de calidad del agua para cada contaminante de interés. En los casos que no se permita definir una zona de mezcla, el criterio de calidad del agua debe alcanzarse en el punto de descarga.

Si bien se pueden exceder los criterios de calidad dentro de la zona de mezcla el uso y el tamaño de la misma deben limitarse de manera que el cuerpo de agua en su conjunto no se vea afectado y que todos los usos designados se mantengan.

Los límites deben controlar todos los contaminantes o parámetros contaminantes que se descargan o pueden descargar a un nivel que causa, o que tiene el potencial razonable de causar o contribuir a estar por encima de cualquier estándar de calidad del agua del estado.

Los límites de efluentes basados en la calidad del agua se aplican cuando la autoridad que otorga el permiso de vuelco evalúa que una descarga de fuente puntual puede exceder cualquier criterio de calidad del cuerpo receptor. Teniendo a su vez los estándares de calidad determinados según los criterios numéricos establecidos y aplicando cálculos de dilución o modelos matemáticos más sofisticados se podrá determinar las tasas de carga y las concentraciones permitidas de los componentes de los efluentes descargados.

7.4.2.- Monitoreo de efluentes

El monitoreo se realiza para determinar el cumplimiento de las limitaciones de efluentes establecidas en los permisos de NPDES, establecer una base para las acciones por incumplimiento, evaluar la eficiencia del tratamiento, caracterizar los efluentes y caracterizar el cuerpo receptor. Las condiciones de monitoreo se fijan en el permiso de descarga dentro del sistema NPDES.

El permiso requiere realizar un autocontrol rutinario o episódico de las descargas permitidas y las operaciones internas (cuando corresponda) e informar los resultados analíticos a la autoridad que otorga el permiso con la información necesaria para evaluar las características de la descarga y el estado de cumplimiento. En

el permiso pueden redactarse no solo los estándares a ser cumplidos, sino su variabilidad, los puntos de monitoreo, los contaminantes descargados, las frecuencias de descarga, efectos de los flujos o de las cargas de los contaminantes en el agua de recepción, las características de descargas de contaminante.

Un permiso NPDES generalmente incluye requisitos específicos para la ubicación, tipo y frecuencia de monitoreo, los métodos de recolección de muestras, los métodos analíticos y los requisitos de informes y mantenimiento de registros. Cuando corresponde, se deben realizar análisis de toxicidad, muestreo de barros, monitoreo de pluviales y deben realizarse consideraciones sobre los métodos analíticos utilizados. Las regulaciones estipulan que todos los permisos deben especificar requisitos relacionados con el uso, mantenimiento e instalación adecuados de los equipos o métodos de monitoreo (incluidos los métodos de monitoreo biológico cuando sea apropiado).

En cuanto a la ubicación del lugar de monitoreo del efluente, debe asegurarse la representatividad de las muestras. Pueden monitorearse, cuando así se lo dispone, aguas de origen antes de ser utilizadas como aguas de proceso, efluentes antes de su tratamiento, o en lugares de las instalaciones antes de la descarga y el efluente final después de todos los procesos de tratamiento.

Al establecer las frecuencias de monitoreo debe considerarse que sean suficientes para caracterizar la calidad del efluente y detectar eventos de incumplimiento. Debe tenerse en cuenta la variabilidad de flujo y concentración de contaminantes, la capacidad de diseño de la instalación de tratamiento, los métodos utilizados, el historial de cumplimiento, la ubicación de la descarga, la naturaleza de los contaminantes, la frecuencia de la descarga, el número de muestras mensuales utilizadas en el cálculo de límites de efluentes basados en la calidad de agua y limitaciones a descargas estacionales.

Además de regular las descargas tradicionales de Plantas POTW o de instalaciones industriales, el Programa de Permisos NPDES regula otro tipo de descargas como los biosólidos (lodos de tratamiento), los desbordes combinados de alcantarillado y al-

cantarillado sanitario y las aguas pluviales. Los lodos de aguas residuales se monitorean para garantizar su uso o disposición segura. La frecuencia de monitoreos para estas últimas está en función de la variabilidad de la carga tóxica o de sólidos orgánicos de la POTW, la carga industrial significativa y alteraciones del proceso.

7.4.3.- Informe de resultados de monitoreo

Los informes que se generan por el autocontrol generalmente incluyen cualquier información importante acerca de las condiciones descritas en el permiso NPDES. Estos datos deben ingresarse en la base de datos del Sistema de Cumplimiento de Permisos (PCS), que denotará automáticamente las violaciones de limitaciones de permisos, cronogramas de cumplimiento y requisitos de informes. Estos informes, en general, se requieren con frecuencia mensual.

El titular debe informar periódicamente acerca de las actividades de monitoreo. Las regulaciones establecen que los resultados del monitoreo se informen en un Reporte de Monitoreo de Descarga (DMR) que debe incluir los datos requeridos por el permiso y cualquier información adicional que el tenedor del permiso haya recopilado de acuerdo con los requisitos del mismo. También el titular debe mantener registros de toda la información de monitoreo, que incluye registros de mantenimiento y calibración, gráficos, datos utilizados, informes, etc., durante al menos tres años a partir de la fecha de muestreo (los datos sobre barros generados en las plantas de aguas residuales deben mantenerse durante cinco años). El monitoreo también puede proporcionar datos sobre la eficiencia del tratamiento y caracterizar los efluentes para renovaciones del permiso.

La autoridad de aplicación realiza inspecciones para verificar el cumplimiento de las condiciones del permiso, así como para detectar y abordar violaciones a la normativa o problemas específicos. Las inspecciones pueden incluir la revisión de registros, la inspección de las instalaciones de tratamiento, la evaluación del progreso con los cronogramas de cumplimiento, la evaluación de las instalaciones, el rendimiento del laboratorio y la recolección de muestras para el análisis.

Monitoreo adicional y estudios especiales

El programa NPDES prevé que puedan solicitarse monitoreos y estudios adicionales por motivos variados. La información adicional y los estudios especiales se utilizan para complementar los datos numéricos y evaluar eventuales modificaciones a los límites. Entre los estudios especiales que pueden requerirse en un permiso NPDES se incluyen los siguientes:

Estudios de tratabilidad: cuando se sospecha que una instalación podría no ser capaz de cumplir con un límite o limitación de efluentes.

Evaluación de identificación de toxicidad / evaluación de reducción de toxicidad (TIE/TRE): cuando utilizando pruebas de toxicidad de efluentes completos (WET) se ha encontrado que las descargas de aguas residuales son tóxicas. El propósito de esas evaluaciones es identificar y controlar las fuentes de toxicidad en un efluente.

Estudios de zona de mezcla: podría ser necesario en un permiso para ayudar a determinar cómo se mezclan los efluentes y el agua de recepción y para establecer una zona de mezcla regulada que se pueda aplicar, al desarrollar límites de efluentes basados en la calidad del agua.

Monitoreo de sedimentos: cuando se sospecha que los contaminantes contenidos en las descargas de aguas residuales se acumulan en los sedimentos del agua receptora.

Estudios de bioacumulación: la determinación en algunos casos, si los contaminantes contenidos en las aguas residuales descargan bioacumulables en organismos acuáticos (por ejemplo, peces, invertebrados). Estos estudios podrían ser necesarios cuando los criterios de calidad del agua se expresen en términos de niveles de tejido de peces.



7.5.- Control del vertido de efluentes en aguas marinas y continentales superficiales de Chile

En el año 2001, la República de Chile estableció una normativa de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a las aguas marinas y continentales superficiales. Su objetivo es la protección ambiental, previniendo la contaminación de las aguas marinas y los cuerpos de agua superficiales continentales mediante el control de los contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan.

La regulación establece explícitamente la concentración máxima de contaminantes permitida para los efluentes descargados por las fuentes emisoras a los cuerpos de agua marinos y continentales superficiales. La norma regula mediante límites prefijados de máximo de vuelco, permitiendo en algunos casos la utilización de poder de dilución del cuerpo receptor. También especifica los valores característicos mínimos que debe tener una descarga para ser considerada como fuente emisora, expresándose en unidades de concentraciones o carga másica diaria. Las fuentes que descarguen contaminantes a una carga media menor a la fijada no se consideran fuentes emisoras para esta norma y por lo tanto no quedan sujetas a ella.

La regulación incorpora el concepto de tasa de dilución del efluente vertido, siendo esta la razón entre el caudal disponible del cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos, expresado en las mismas unidades. **Se fija además una zona de protección Litoral**, ámbito territorial de aplicación de la norma en las aguas marinas, que corresponde a la franja de playa, agua y fondo de mar adyacente a la costa continental o insular, delimitada por una línea superficial imaginaria, medida desde la línea de baja marea que se orienta paralela a ésta y que se proyecta hasta el fondo del cuerpo de agua. Su cálculo se realiza a través de una fórmula provista por la autoridad de aplicación.

Con los conceptos anteriores definidos, se establecen los límites numéricos máximos permitidos para las descargas de los efluentes a

cuerpos de agua fluviales. Los valores de los parámetros se dan en unidades de concentración.

Las fuentes emisoras pueden aprovechar la capacidad de dilución del cuerpo receptor, incrementando las concentraciones límites establecidas. A través de un cálculo matemático, que considera el factor de dilución, se da el resultado de un nuevo límite máximo permitido para el contaminante. Este valor calculado no podrá ser superior a los límites máximo fijados por otra tabla que tiene incorporado la máxima capacidad de dilución del cuerpo fluvial receptor.

Existen a su vez límites máximos permitidos para las descargas a cuerpos de agua lacustres naturales (lagos, lagunas) como para las que se vierten a cuerpos fluviales que sean afluentes de un cuerpo de agua lacustre. La normativa chilena establece también los límites máximos permitidos para la descarga de efluentes líquidos a cuerpos de agua marinos. En este capítulo se diferencian los límites de las descargas a cuerpos de agua marinos dentro de zona de protección litoral de las descargas por fuera de la zona de protección. La normativa detalla a su vez los procedimientos de medición y control de los efluentes, de forma que la caracterización pueda ser informada a la autoridad competente, fijando el método analítico a ser utilizado en la determinación de los parámetros. Se exige determinar sólo aquellos vinculados a la actividad que le dio origen.

Chile cuenta con un paquete de normas técnicas dirigidas a dar homogeneidad a los procedimientos, tanto de muestreo de calidad, como de muestreo de efluentes y manejo de muestras. Se fijan las características que debe tener el lugar de toma de muestra y la frecuencia de monitoreo que se establece en relación con los momentos de máxima producción o máximo caudal de descarga. Se propone un número mínimo de días de muestreo anual que se determina en función del caudal de descarga. Se puntualiza en la norma el número de muestras compuestas a obtener, la metodología de medición de caudal en función del volumen de descarga, y se informan las condiciones de la extracción y manejo de las muestras. Se establecen las condiciones de incumplimiento, comunicando que, si las muestras exceden los límites máximos establecidos, puede ser efectuado un nuevo muestreo dentro de los 15 días posteriores. Asimismo, se describe un procedimiento que determina cuándo se considera que una o más muestras exceden los límites máximos permitidos.

7.6.- Control del vertido de efluentes en aguas superficiales en Argentina

Argentina es un país federal y corresponde a las provincias el control de los vertidos de efluentes industriales a los cuerpos receptores, entre ellos, los cuerpos de agua superficiales. Así, los gobiernos provinciales han dictado las normas que regulan dichos vertidos a fin de proteger la calidad de las aguas receptoras y otros componentes del ambiente.

En general, las distintas reglamentaciones disponen que para efectuar un vuelco de efluentes industriales a un cuerpo receptor se debe contar con un permiso o autorización de la autoridad competente provincial. Estos permisos revisten carácter precario ya que pueden retirarse ante la detección de irregularidades. Se regulan también los procedimientos a seguir para la obtención de tal permiso y los límites para la concentración de distintas sustancias que puede contener el efluente, así como los de otros parámetros físicos, químicos y biológicos que lo caracterizan. Generalmente las reglamentaciones establecen que no se permitirán descargas de efluentes que puedan inutilizar o degradar el cuerpo receptor o conferirle características inadecuadas para sus distintos usos.

Los límites de vertido, en general, son valores prefijados máximos, aunque en algunos casos, como por ejemplo en las provincias de Santa Fe, Entre Ríos y Catamarca, se ordena considerar algunas características particulares del sitio de vuelco y del cuerpo receptor para determinar dichos límites para algunas sustancias. En el caso de la Provincia de Santa Fe, la normativa dispone que, cuando los efluentes se vuelquen a lagos, lagunas, etc. que no estén unidos a la red hidrográfica de la corriente principal o a cursos de agua no permanente, las condiciones de vuelco serán establecidas por la autoridad competente en función de las características particulares del cuerpo receptor. Similar decisión adoptó la Provincia de Río Negro con relación a los vuelcos que se efectúen a lagos de esa provincia, y la provincia de Entre Ríos en relación con vuelcos a cursos de agua no permanentes, o con un caudal inferior a diez veces el caudal de la descarga industrial.

En la normativa sobre efluentes de la Provincia de Córdoba se impulsa el reuso de agua residual e incentiva el reciclado y reuso de efluentes líquidos de todo tipo como medida de manejo eficiente y sustentable del recurso hídrico y establece que se podrá exigir dicha medida frente a situaciones de escasez de fuente o de incapacidad de admisión del cuerpo receptor. Se establecen condiciones para la aplicación de efluentes líquidos provenientes de actividades agropecuarias con objetivo de uso agronómico de efluentes. También esta normativa incluye una Guía del Manual de Buenas Prácticas, Mantenimiento y Monitoreo del sistema de tratamiento de efluentes y otra del Plan de Contingencias Ambientales, que contiene elementos para la prevención y reducción de la contaminación en las curtiembres, los frigoríficos, la industria galvánica y la industria láctea.



7.7.- Regulaciones para la participación social en el proceso de otorgamiento de permisos

7.7.1.- Previsiones del NPDES para la intervención del ciudadano u organismos

En el NPDES (Sistema Nacional de eliminación de descargas de contaminantes de los Estados Unidos), el **aviso público** es el vehículo para informar a todas las partes interesadas y miembros del público en general sobre el contenido de un borrador de permiso NPDES o de otras acciones significativas con respecto a un permiso NPDES a ser otorgado o a su solicitud. De esta manera, todas las partes interesadas tienen la oportunidad de comentar sobre las acciones significativas que con respecto a un permiso o solicitud de permiso realiza el organismo que lo otorga.

La modalidad, el alcance de los contenidos y los métodos para efectuar el aviso público deben corresponderse con la normativa provincial.

Las acciones que deben ser comunicadas al público son:

ACCIONES QUE DEBEN SER COMUNICADAS AL PÚBLICO	Denegación provisional de una solicitud de permiso NPDES (no necesariamente aplicable a programas estatales).
	Preparación de un borrador de permiso NPDES, incluida una propuesta para rescindir un permiso.
	La programación de una audiencia pública.
	El otorgamiento de una apelación por parte de la Junta de Apelaciones Ambientales.
	Modificaciones importantes del permiso (después de su emisión).
	Determinaciones de una fuente nueva de contaminación.

La notificación pública puede realizarse:

- ▶ **Para permisos importantes**, con una publicación de un aviso en un periódico diario o semanal dentro del área afectada por la instalación o actividad.
- ▶ **Para permisos generales** emitidos por la EPA, publicación en la gaceta oficial del gobierno federal de los Estados Unidos.
- ▶ **Para todos los permisos**, envío directo a varias partes interesadas, incluyendo a: el destinatario del permiso; cualquier parte interesada que figure en la lista de correos; cualquier otra institución además de la que otorga el permiso que pueda tener incumbencia; cualquier instancia interesada del gobierno federal, provincial o municipal; usuarios identificados en la solicitud de permiso de una planta de tratamiento de propiedad privada; personas en cualquier lista de correo desarrollada, incluyendo aquellos que solicitan su inclusión por escrito y participantes en procedimientos de permisos pasados en el área.

El programa NPDES especifica que el aviso público debe contener datos de la oficina que procesa la acción del permiso y del titular del permiso o solicitante; de la instalación o actividad regulada por el permiso; una descripción de la ubicación de cada punto de descarga existente o propuesto y el nombre del cuerpo de agua receptor, las prácticas de uso y eliminación de lodos y la ubicación de cada planta de tratamiento de lodos que está tratando las aguas residuales domésticas y los sitios de uso o eliminación conocidos en el momento de la solicitud del permiso.

Además, se incluye una breve descripción de la empresa y un contacto del que las personas interesadas pueden obtener información adicional; información sobre los procedimientos para requerir comentarios y sobre las audiencias y una declaración de que todos los datos presentados por el solicitante están disponibles como parte del registro administrativo e información sobre este registro (Para permisos emitidos por la EPA); así como cualquier información adicional que se considere necesaria.

La autoridad de aplicación que prepara el permiso debe proporcionar un aviso público del borrador del mismo y debe

proporcionar al menos 30 días para comentarios públicos. El borrador del permiso generalmente se presenta para notificación pública después de haber sido revisado internamente por la agencia reguladora que está emitiendo el permiso. Los permisos emitidos por el Estado generalmente reciben aviso público después de que la EPA haya revisado y comentado el borrador del permiso.

7.7.1.1.- Comentarios públicos

Las personas u organismos interesados pueden presentar comentarios sobre el permiso durante el período de comentarios públicos y la autoridad que otorga los permisos debe considerarlos al tomar decisiones finales. Cualquier parte interesada puede solicitar una audiencia pública. La EPA expresa que los redactores de permisos también deberían considerar notificar los comentarios que han sido recibidos y están siendo considerados.

Debe darse una respuesta a todos los comentarios significativos sobre el borrador del permiso planteados durante el período de comentario público o durante cualquier audiencia. El periodo de comentarios se puede reabrir hasta que todos los comentarios sean levantados.

En el momento en que se llega a una decisión final sobre el permiso se debe dar respuesta a todos los comentarios significativos planteados durante el período de comentarios públicos o durante cualquier audiencia, informando sobre los cambios y sus justificaciones. Si se toma alguna acción modificatoria, se debe dar un nuevo aviso público, como se describió anteriormente.

7.7.1.2.- Audiencias públicas

Cualquier parte interesada puede solicitar una audiencia pública. Debe hacerlo por escrito e indicar la naturaleza de los temas propuestos que se plantearán durante la audiencia. Sin embargo, la realización de una audiencia se concretará cuando haya una cantidad significativa de interés expresado durante el periodo de comentarios públicos o cuando sea necesario aclarar los asuntos involucrados en la decisión del permiso. El responsable del permiso debe garantizar que toda la información objetiva en apoyo del borrador del permiso esté bien documentada.

El aviso público de una audiencia debe darse al menos 30 días antes de su realización y debe contener:

- **Breve descripción de la naturaleza y el propósito de la audiencia, incluidas las reglas y procedimientos aplicables.**
- **Referencia a las fechas de cualquier otro aviso público relacionado con el permiso.**
- **Fecha, hora y lugar de la audiencia.**

La programación de una audiencia extiende automáticamente el período de comentarios hasta al menos el cierre de esta y el período de comentarios públicos puede extenderse mediante solicitud durante la audiencia. Cualquier persona puede presentar comentarios escritos u orales sobre el borrador del permiso en la audiencia y, de hecho, las partes interesadas pueden distribuir públicamente material relevante. Asimismo, una transcripción o grabación de la audiencia debe estar disponible para las personas interesadas.

7.7.2.- Previsiones para la participación pública en el control de la contaminación en la UE

La Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación establece los lineamientos para la participación pública en el control de la contaminación en los países de la Unión Europea. Esta Directiva establece normas sobre la prevención y el control integrado de la contaminación procedente de las actividades industriales y también normas para evitar o, cuando ello no sea posible, reducir las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo y la generación de residuos, con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente considerado en su conjunto.

La norma define como “el público” a “una o varias personas físicas o jurídicas y, de conformidad con la legislación o la práctica nacional, sus asociaciones, organizaciones o grupos, y como “el público interesado” a “el público que pueda verse afectado o que tenga un interés por la toma de una decisión sobre la concesión o actualización de un permiso o de las condiciones de un permiso; a efectos de la presente definición, se considerará que tienen un interés las organizaciones no gubernamentales que trabajen en

favor de la protección del medio ambiente y que cumplan los requisitos pertinentes previstos por la legislación nacional”.

Además, define como “mejores técnicas disponibles” a “la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir la base de los valores límite de emisión y otras condiciones del permiso destinadas a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente”.

El Artículo 24 de esta Directiva trata sobre el “Acceso a la información y participación pública en el procedimiento de concesión de permisos” y establece que los Estados miembros deben garantizar que el público interesado tenga posibilidades reales de participar en una fase temprana de los procedimientos que corresponden a la concesión de un permiso de nuevas instalaciones; la concesión de un permiso relativo a cualquier cambio sustancial; la concesión o actualización de un permiso que involucre límites de emisión menos estrictos; o para la actualización de un permiso o de las condiciones del permiso de una instalación “cuando la contaminación producida por la instalación sea de tal importancia que haga necesario revisar los valores límite de emisión vigentes o incluir nuevos valores límite de emisión”.

Además, dispone que, al tomar una decisión sobre la concesión, revisión o actualización de un permiso, la autoridad competente pondrá a disposición del público, por ejemplo, a través de internet la siguiente información:

- ▶ El contenido de la decisión, incluidas una copia del permiso y las actualizaciones posteriores.
- ▶ Los motivos en los que se basa dicha decisión.
- ▶ Los resultados de las consultas celebradas antes de tomar la decisión y una explicación de cómo se tuvieron en cuenta en esta.
- ▶ El título de los documentos de referencia de mejores técnicas disponibles aplicables a la instalación o actividad.
- ▶ El método utilizado para determinar las condiciones del permiso contempladas en la directiva 2010/75/UE, incluidos los valores límite de emisión en relación con las me-

jores técnicas disponibles y los niveles de emisión asociados con las mejores técnicas disponibles.

- ▶ Cuando se conceda una exención referida a límites de emisión menos estrictos, los motivos concretos de tal exención basados en los criterios establecidos en el citado apartado, y las condiciones impuestas.

Asimismo, resuelve que la autoridad competente también pondrá a disposición del público información relevante sobre las medidas adoptadas por el titular tras el cese definitivo de las actividades, con arreglo a lo establecido en la misma Directiva y los resultados del monitoreo de la emisión exigidos con arreglo a las condiciones del permiso que obren en poder de la autoridad competente. Esta información se brindará, al menos, a través de internet.

En el Artículo 25, “Acceso a la Justicia”, la Directiva dispone que “Los Estados miembros garantizarán que, de conformidad con su legislación interna, los miembros del público interesado tengan la posibilidad de presentar un recurso ante un tribunal de justicia o ante otro órgano independiente e imparcial establecido por la ley para impugnar la legalidad, en cuanto al fondo o en cuanto al procedimiento, de decisiones, acciones u omisiones “cuando tengan un interés suficiente o sostengan el menoscabo de un derecho”. Además, establece que los Estados miembros determinarán la fase en la que pueden presentarse impugnaciones. Se considera que toda organización no gubernamental que promueva la protección del medio ambiente y que cumpla los requisitos establecidos por la legislación nacional tiene siempre el interés suficiente.

7.7.2.1.- Procedimiento para la participación del público en la toma de decisiones

La Directiva 2010/75/UE establece el siguiente Procedimiento para la participación del público:

- 1) En una fase temprana del procedimiento previo a la toma de una decisión o, como muy tarde, en cuanto sea razonablemente posible facilitar la información, se informará al público (mediante avisos públicos u otros medios apropiados, como los electrónicos, cuando se disponga de ellos) de los siguientes asuntos:

- a) la solicitud de un permiso o, llegado el caso, de la propuesta de actualización de un permiso o de las condiciones de un permiso, incluida la descripción de los elementos que deben estar contenidos en las solicitudes de permiso;
 - b) cuando proceda, de aquellas decisiones sujetas a evaluación de impacto ambiental, nacional o transfronteriza, o a consultas entre los Estados miembros;
 - c) datos sobre las autoridades competentes responsables de tomar la decisión, de las que pueda obtenerse información pertinente, a las que podrán presentarse observaciones o formularse preguntas, así como detalles sobre el plazo previsto para la presentación de observaciones o la formulación de preguntas;
 - d) la naturaleza de las posibles decisiones o, en su caso, del proyecto de decisión;
 - e) si procede, los datos relacionados con la propuesta de actualización de un permiso o de las condiciones del mismo;
 - f) una indicación de las fechas y los lugares en los que se facilitará la información pertinente, así como los medios empleados para ello;
 - g) las modalidades de participación y consulta del público.
- 2) Los Estados miembros velarán para que, dentro de plazos adecuados, se pongan a disposición del público interesado:
 - a) conforme con la legislación nacional, los principales informes y dictámenes remitidos a la autoridad o autoridades competentes en el momento en que deba informarse al público interesado;
 - b) conforme con la Directiva 2003/4/CE, toda información distinta a la referida en el punto anterior que sea pertinente para la decisión de conformidad con el artículo referido a la Concesión de Permisos de la Directiva 2010/75/UE y que solo pueda obtenerse una vez expirado el período de información al público interesado.
 - 3) El público interesado tendrá derecho a poner de manifiesto su opinión y comentarios a la autoridad o a las autoridades competentes antes de que se adopte una decisión.

- 4) Los resultados de las consultas celebradas con arreglo al presente anexo deberán ser tenidos en cuenta debidamente a la hora de adoptar una decisión.
- 5) Las modalidades de información al público (por ejemplo, mediante la colocación de carteles o la publicación de anuncios en la prensa local) y de consulta al público interesado (por ejemplo, mediante el envío de notificaciones o encuestas públicas) las determinarán los Estados miembro. Se establecerán plazos razonables para las distintas fases que concedan tiempo suficiente para informar al público y para que el público interesado se prepare y participe de forma efectiva en procesos de toma de decisiones sobre temas medioambientales con arreglo al presente anexo.

7.7.3.- Previsiones para la participación pública en la provincia de Mendoza

El **Decreto 778/76**, que regula en todo el ámbito de la Provincia de Mendoza la protección de la calidad de las aguas del dominio público provincial, establece en su Artículo 18 el procedimiento por el cual posibles afectados o interesados en relación a un Permiso de vuelco en trámite podrán manifestar observaciones o reclamos. En dicho artículo se dispone que:

“Recepcionada la solicitud de permiso, se emitirán los pertinentes informes técnicos por las oficinas correspondientes y las Inspecciones de Cauces con jurisdicción. Una vez verificado que se han cumplido con todos los extremos exigidos en la presente reglamentación, se ordenará la publicación por tres (3) veces en el Boletín Oficial y en un diario circulación de la zona afectada, con cargo al interesado, la solicitud de permiso con una información sucinta de lo petitionado por la empresa o establecimiento. Los posibles afectados o interesados tendrán treinta (30) días corridos, perentorios e improrrogables, para efectuar las observaciones o reclamos que sean pertinentes, los cuales deberán ser fundamentados por escrito. De esas observaciones, como de las que pudiera hacer el Departamento General de Irrigación, se dará vista a la peticionante por el término de quince (15) días corridos, a fin que conteste y haga su descargo. Si las mismas no fueran contestadas o la contestación fuera insuficiente para el Departamento, se rechazará sin más la solicitud de Permiso de Vuelco. Cuando la complejidad del caso lo justifique, Superintendencia podrá ampliar, prudencialmente, los plazos fijados en el presente”.

7.8.- Inspecciones de cumplimiento de los permisos de vuelco

Un aspecto central en el adecuado control del impacto ambiental de las actividades industriales son las inspecciones de cumplimiento de los permisos de vuelco a través de las cuales se concreta el proceso de evaluación del cumplimiento de las normas y requisitos de protección ambiental. **Las inspecciones pueden abordar todo el establecimiento o abocarse a un problema ambiental específico, una instalación o sector industrial o un sitio particular.** En general consisten en visitas a una instalación o sitio a efectos de recopilar información para determinar si se está cumpliendo con los condicionamientos establecidos en el permiso de descarga y también incluyen entrevistas a representantes del establecimiento, revisión de informes y registros de ensayos; recolección de muestras, registros fotográficos, evaluación de las instalaciones de tratamiento, laboratorios, efluentes y aguas receptoras y observación de las operaciones del establecimiento. Previo a la inspección se realizan tareas de recopilación de información sobre el establecimiento y su desempeño, e informes de inspecciones anteriores.

El inspector debe además comprobar que las instalaciones para el manejo y control de efluentes se corresponden con la documentación aprobada en el permiso de descarga. Asimismo, a efectos de realizar una correcta planificación de la recolección de muestras, el inspector debe tener un buen conocimiento de las instalaciones, del proceso productivo y de los insumos que se emplean. Los organismos de control deben capacitar a sus inspectores sobre los procedimientos que deben seguirse para asegurar la representatividad e integridad de la muestra desde su toma hasta el reporte de sus resultados.

OBJETIVOS DE UNA INSPECCIÓN

Determinar el grado de cumplimiento con la normativa ambiental y las condiciones de los permisos.

Verificar la certeza de la información presentada por el tenedor del permiso.

Obtener información que contribuya a perfeccionar el proceso de concesión de permisos.

Recopilar elementos para apoyar sanciones cuando corresponda.

Evaluar muestreo y monitoreo realizado por el tenedor del permiso.

Evaluar el cumplimiento de órdenes y recomendaciones.



7.9.- Mejoras para el cumplimiento normativo. Implementación de sistemas avanzados

A pesar de los esfuerzos de las autoridades en el control de las descargas, los problemas de contaminación persisten, lo que estaría indicando que el cumplimiento de la normativa por parte de las empresas es dispar, y la capacidad de vigilancia de las autoridades nunca es suficiente como para extenderse eficazmente a miles de empresas permisionadas. Por ello, es necesario organizar **nuevos esquemas de control** para los cuales se sugiere incluir los siguientes aspectos (7):

- ▶ Certificación de descargas por terceros independientes: la intervención de un especialista en la evaluación de los vertidos puede colaborar en la detección de problemas.
- ▶ Monitoreo en tiempo real: es posible realizar un monitoreo continuo de algunos parámetros de efluentes industriales o cursos de agua y transmitir en tiempo real la información a través a los Centros de Cómputos de los organismos de control. También se pueden instalar muestreadores automáticos en el punto de vuelco de los efluentes que además de tomar muestras del vuelco conforme a una cierta programación, pueden tomar muestras en el momento en que se envíe una señal desde las oficinas de los organismos de control. (Un sistema de estas características está instalado



en la Provincia de Tucumán y monitorea los efluentes de empresas citrícolas y destilerías determinando los valores de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto; y los transmite a la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la provincia).

- ▶ Informes electrónicos: la presentación de informes en formato electrónico por parte de los permisionarios facilita el análisis de la información para los organismos de control y posibilita su inmediata disposición para conocimiento del público creándose así una mayor transparencia. Este sistema abierto permite a las empresas comparar los resultados sobre sus respectivos desempeños proporcionando un incentivo para mejorar.
- ▶ La transparencia permite al público evaluar también el desempeño de sus autoridades en el control de la contaminación cuando se puede verificar on-line las inspecciones realizadas, sus resultados y las sanciones aplicadas.
- ▶ También la información del monitoreo en tiempo real puede ponerse a disposición del público.
- ▶ Equipos de videofilmación: para detectar fugas o pérdidas de efluentes contaminantes.

La implementación de estos sistemas permite detectar infracciones, tener una mayor transparencia en los actos gubernamentales, mejorar el desempeño ambiental de las empresas y con ello reducir la contaminación, y promover la participación social en el cuidado del ambiente.





ANEXO

AUTORES Y BIBLIOGRAFÍA

AUTORES

Marisa Arienza

Abogada, Phd. en Relaciones Internacionales. Realizó sus estudios de posgrado en Harvard con el Prof. Huntington y en Francia con el Prof. Raymond Barre. Especializada en Desarrollo Humano, Social y Ambiental Sustentable (UNU). Trabajó largo tiempo en "Promoción de Inversiones Industriales" en la ONUDI. Consultora de PNUD, UNU (Universidad de las Naciones Unidas) y BM (Banco Mundial). Coautora del Manual de Resolución de Conflictos Socio-Ambientales (Banco Mundial - 2001). Profesora titular en el posgrado de Derecho Ambiental de la Universidad de Belgrano.

Ex directora del Doctorado en Relaciones Internacionales de la UBA. Ha dictado numerosos cursos de posgrado en la Argentina y en el exterior. Ex secretaria de Desarrollo Social, Cultura y Turismo de San Carlos de Bariloche. Encargada de Misión de Green Cross, con sede en Argentina desde 1996 a la fecha.

Andrés E. Carsen Pittaluga

Nació en Montevideo, Uruguay, y reside en la Argentina desde los 12 años. Especialista en Ciencias Ambientales, con estudios de posgrado en la Universidad de Dalhousie, Halifax, N.S., Canadá. Entre otras actividades, ha sido responsable de la elaboración e implementación de proyectos regionales y nacionales relacionados con la preservación de los recursos naturales, prevención y reducción de la contaminación del agua por actividades de origen terrestre y acuático.

Evgeniy Ermolin

Doctor en Ciencias Geográficas (Orientación Geomorfología, Glaciología, Geocriología y Geotecnia) de la Universidad de Moscú en 1979. Durante más de 20 años trabajó en el Laboratorio de Glaciología y Geocriología de Alta Montaña perteneciente al Instituto de Permafrost de la Academia de Ciencias de la URSS, llegando a ser director del mismo en el periodo 1990-1994. Entre 1994 y 1998 fue representante de la Facultad de Geografía de la Universidad de Moscú en la empresa Georam y, en tal carácter fue el Director de la División Glaciología de la misma. Desde 1999 trabaja en el Instituto Antártico Argentino.

Ha participado y dirigido numerosos proyectos de estudio de fenómenos criogénicos en glaciares y zonas periglaciares de Siberia, Asia Central, Antártida y Patagonia y es autor y coautor de más de cien publicaciones e informes sobre el tema.

Andrey Glazovskiy

Doctor en Glaciología del Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de las URSS, título que obtuvo en 1984. Desde 1985 se desempeña en el Departamento de Glaciología del Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Rusia donde es actualmente investigador principal.

Sus intereses de investigación están orientados al estudio de las glaciaciones y de la evolución y estructura interna de glaciares y es un referente internacional en el empleo de métodos remotos de medición. Ha participado y dirigido numerosos estudios de glaciares en el Ártico y en la Antártida varios de ellos vinculados a los efectos antropogénicos sobre glaciares. Es autor y coautor de más de cien publicaciones e informes en su especialidad.

Miguel A. Goméz

Ingeniero Civil (UNLP). Computador Científico (UBA). Doctor en Hidronomía (Università di Padova – Italia). Ex Profesor en la Facultad de Ingeniería (UBA). Fue Director de Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos y Coordinador de la Oficina del Agua en la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, encargado de la elaboración e implementación de programas y proyectos relacionados con la gestión integral de cuencas hídricas y la protección y preservación de las aguas continentales superficiales, subterráneas y de las zonas costeras.

Luis A. Tournier

Licenciado en Ciencias Químicas – Químico Industrial – Químico de procesos (UBA). Especialización en Ciencias Químicas y Ambiente (UBA). Realizó estudios de posgrado en Tratamiento de Efluentes Industriales (UBA), en Biodegradación de Efluentes Industriales (UBA) y en Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (ISALUD). Representante técnico por Argentina en actividades del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (Unidad de Sustancias Químicas - Dioxinas y Furanos) y del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Residuos Peligrosos y su eliminación. Entre otras actividades se desempeñó como consultor en la evaluación y planificación de la gestión de residuos peligrosos, emisiones, descargas líquidas y sólidas; en la formulación e implementación de Programas de Re-conversión Industrial; en el estudio y evaluación de plantas de tratamiento de efluentes industriales; y en el desarrollo, estudio y evaluación de proyectos de remediación de sitios contaminados por hidrocarburos, mercurio y otras sustancias químicas.

Carlos Miguel Marschoff

Doctor en Química (UBA), Investigador Científico en las áreas de fisicoquímica, energía y gestión tecnológica. Fue director de convenios y transferencia de tecnología de la UBA. Coordinador del FONTAR (Fondo Tecnológico Argentino). Gerente general de UBATEC; consultor de organismo internacionales, Prof. de Electroquímica en la Facultad de Ingeniería de la UBA, director general de FONCYT. Director de Proyectos de Green Cross Argentina.

Adrián Silva Busso

Doctor en Ciencias Geológicas (Orientación Hidrológica) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Desde 1993 se desempeña como investigador en el área de hidrología en el Instituto Nacional del Agua y es docente en la Universidad de Buenos Aires. Actúa también como docente en otras universidades nacionales. Desde 1997 actúa como investigador invitado en las campañas antárticas de verano del Instituto Antártico Argentino. Ha actuado en numerosos proyectos hidrológicos, muchos de ellos vinculados con áreas glaciares y periglaciares. Es autor de más de cincuenta publicaciones e informes de su especialidad.

Rosario Roldán

Colaborador capítulo 1

Estudiante de Abogacía por la Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires. A lo largo de su carrera Universitaria ha participado y coordinado diversas actividades de servicio social. Miembro del equipo de la Fundación Green Cross Argentina desde 2018.

BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 1

- 1.- Mallmann, C. A. (1980). "Necesidades humanas". Tokio: GPID Naciones Unidas.
- 2.- Mallmann, C. A. (2017) "Necesidades humanas". En *Agua, Panorama general de la Argentina*. Buenos Aires: Green Cross Argentina.
- 3.- Arienza M. y Mallmann C. A. (1999). "Relación entre las Necesidades Humanas y la Carta de la Tierra", insumo para la elaboración de la Carta de la Tierra, UPAZ/Green Cross.
- 4.- Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015).
- 5.- Gorbachov M. (2002). *Mi Manifiesto por la Tierra*.
- 6.- Herrera A. O., Scolnick H. D., Chichilnisky G., Gallopin G. C., et.al. (1977). *¿Catástrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano 30 años después*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- 7.- Meadows, D. et. al. (1972). *Los Límites del Crecimiento*. Fondo de Cultura Económica.
- 8.- Morris, B. L., Lawrence, A. R. L., Chilton, P. J. C., Adams, B., Calow R. C. y Klinck, B. A. (2003). "Groundwater and its susceptibility to degradation". UNEP.
- 9.- FAO-UNICEF (2020). "Progreso sobre el saneamiento y el agua potable 2010".
- 10.- Diamond, J. (2013). *El Mundo Hasta Ayer*. Los Ángeles: UCLA.
- 11.- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2019). *Informe especial sobre el Cambio Climático y los Suelos*.
- 12.- ONU (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo los Recursos Hídricos: No dejar a nadie atrás*.
- 13.- (2017). *Plan Nacional de Agua Potable y saneamiento*. Buenos Aires: Secretaría de Recursos Hídricos/ APLA/ERAS.

Capítulo 2

- 1.- Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible (2006). *Indicadores de Seguimiento*. Argentina.
- 2.- Academia Nacional de Ingeniería (2011). *Reflexiones sobre una Matriz Energética Sostenible*.
- 3.- Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (1976). *La Demanda de Agua en la República Argentina*.
- 4.- Banco Mundial (2000). Informe Principal de Argentina: *gestión de los recursos hídricos. Elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI Volumen I*.
- 5.- Academia Nacional de Ingeniería (2011). *Reflexiones sobre una Matriz Energética Sostenible*.
- 6.- Agencia Nacional de Aguas – Brasil. 2009.
- 7.- Comisión Administradora del Río de la Plata (2005). Análisis de Diagnóstico Transfronterizo del Río de la Plata y su Frente Marítimo.
- 8.- Banco Mundial (2000). Argentina: Gestión de los Recursos Hídricos. Elementos de Política para su Desarrollo Sustentable en el Siglo XXI.
- 9.- Naumann, M, Madariaga, M. (2003). Atlas Argentino. Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, INTA-GTZ.
- 10.- Atlas de Cuenclas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina. 2010
- 11.- Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2002.
- 12.- Bucher E.H. (ed.). (2006). Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita. Córdoba, Argentina: Academia Nacional de Ciencias.
- 13.- Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata.

- 14.- Comité Interjurisdiccional del Río Colorado, Programa de Relevamiento y Monitoreo de Calidad de Aguas del Sistema Río Colorado Superior-Embalse Casa de Piedra y de las Fuentes de Descarga al Río, 1999-2011.
- 15.- Comité Chileno para el programa Hidrológico Internacional (CONAPHI – Chile).
- 16.- Diagnóstico Ambiental Transfronterizo de la Cuenca del Río Bermejo. Instituto Nacional del Agua (INA), 2000.
- 17.- Eco-regiones de la Argentina, Sistema de Información Ambiental Nacional, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- 18.- El Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.
- 19.- Entidad Binacional Yacyretá (EBY).
- 20.- ENOHS. Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento.
- 21.- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). AQUASTAT.
- 22.- José Reta (2002). Argentina (Provincia de Mendoza).
- 23.- Fundación Vida Silvestre (2005). La Situación Ambiental Argentina.
- 24.- Departamento General de Irrigación, (2001). Provincia de Mendoza. En: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO).
- 25.- Fundación Proyungas.
- 26.- Neiff y Malvárez (2004). “Grandes Humedales Fluviales”. Documento del Curso-Taller Bases Ecológicas para la Clasificación e Inventario de Humedales en Argentina.
- 27.- Instituto Nacional de Estadística y Censos, Censo 2010.
- 28.- Instituto Provincial del Agua (IPA). Provincia de Chubut.
- 29.- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la nación (2010). Inventario de Presas y Centrales Hidroeléctricas de la República Argentina. (1ª ed). Buenos Aires: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
- 30.- (2010). La Cuestión del Agua. Consideraciones Sobre el Estado de Situación de los Recursos Hídricos de la Argentina. Academias Nacionales de Ciencias Económicas, Ingeniería y Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la República Argentina.
- 31.- (1976). La Demanda de Agua en la República Argentina. Buenos Aires: Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas.
- 32.- Daniele y Natenzon (1994). “Las Regiones naturales de la Argentina: Caracterización y Diagnóstico”. Recuperado de Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos.
- 33.- Organismo Regulador de Seguridad de Presas (2010).
- 34.- (2000). Plan Estratégico de Acción para la Cuenca Binacional del Río Bermejo. Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija-COBINABE; Argentina.
- 35.- (2008). Plan Nacional Federal de los Recursos Hídricos. Buenos Aires: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
- 36.- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- 37.- Programa Marco de la Cuenca del Plata. Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata.
- 38.- PROMAR-Mar Chiquita Córdoba. Centro de Zoología Aplicada. Universidad de Córdoba.
- 39.- Red Hidrológica Nacional, Publicaciones Hidrometeorológicas; Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación 2008-2009
- 40.- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable Dirección Nacional de Recursos Naturales y Conservación de la Biodiversidad.
- 41.- Secretaría de Minería de la Nación-Argentina; Secretaría de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente-Brasil.

Capítulo 3

- 1.- UNEP (2008). *An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters*.
- 2.- The World Bank (2013). *World development indicators*.
- 3.- AQUASTAT (2019) FAO's Global Information System on Water and Agriculture.
- 4.- UNEP (2003). *Groundwater and its susceptibility to degradation*.
- 5.- FAO (1996). "Control of water pollution from agriculture". En *Irrigation and drainage* 55.
- 6.- Sagardoy, J.A. (1993). An overview of pollution of water by agriculture. En: *Prevention of Water Pollution by Agriculture and Related Activities*. Actas de la Consulta de Expertos de la FAO.
- 7.- Ghassemi F, Jakeman A J, and Nix H A. (1995). *Salinisation of land and water resources*. Sydney: University of New South Wales Press Ltd.
- 8.- Crisis ambiental en la laguna de Alalay (11 de marzo de 2016). El Boliviano.
- 9.- Chang, F. C., Simcik, M. F., & Capel, P. D. (2011). Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere. *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(3), 548-555.
- 10.- Alonso L.L., Demetrio P.M. et. al. (2018). Glyphosate and atrazine in rainfall and soils in agroproductive areas of the pampas region in Argentina. En: *Total Environment* 645, 89-96.
- 11.- López Aca, V., González, P.V. et. al. (2014). Comparative toxicity of insecticides, fungicides and herbicides widely used in the Pampas (Argentina) on the "Pejerrey" (*Odontesthes bonariensis*). *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*.
- 12.- Carriquiriborde P. (2017). Evaluación de riesgo ecológico de plaguicidas en ecosistemas acuáticos pampeanos. En *Plaguicidas en el ambiente*. Buenos Aires: INTA.
- 13.- ACUMAR (2018). Coordinación de Calidad Ambiental.
- 14.- Mubarak A. M., Gunawardhana H. P. G. et. al. (1992). Impact of agriculture on groundwater quality. En *British Geological Survey Technical Report*, WD/92/49.
- 15.- Loewy R. M.; Novelli M.; Carvajal L. G.; Labollita H.; Neme G.; Ramos J.; Saenz C. y Pechen de D'Angelo A.M. (2000). "Percolación de plaguicidas en áreas de producción frutícola en el valle del río Neuquén (Argentina)" 1st Joint World Congress on Groundwater 2000.
- 16.- Teaf C., Merkel B. et. al. (2003). Industry, mining and military sites: information needs. En *Protecting groundwater for health: managing the quality of drinking - water sources*. OMS.
- 17.- Calow R.C., Morris B.L. et. al. (1999): Tools for assessing and managing groundwater pollution threats in urban areas. *British Geological Survey Commissioned Report*, CR/01/258.
- 18.- Johnston J. E., Lim E. y Roh H. (2019). Impact of upstream oil extraction and environmental public health: a review of the evidence. *Sci. Total Environment* 657, 187 - 199.
- 19.- Jain R. K., Cui Z. y Domen J. K. (2016). *Environmental impact of mining and mineral processing. Management, Monitoring and Auditing Strategies*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- 20.- UNEP (2011). "Environmental assessment of Ogoniland".
- 21.- Fibre2Fashion (2012). *Various Pollutants Released into Environment by Textile Industry*. Recuperado de <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/6262/various-pollutants-released-into-environment-by-textile-industry>.
- 22.- Mohan S., Muralimohan N., Vidhya K. y Sivamukar C. T. (2017). A case study on textile industrial process. En *Indian J. Sci. Res.* 17, 80-84.

Capítulo 4

- 1.- Royer, D. L. (2006). CO₂-forced climate thresholds during the Phanerozoic. En *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 70 (23), 5665-5675.
- 2.- Veizer, J.; Godderis, Y. y François, L. M. (2000). Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoic eon. En *Nature* 408, 698 - 701.
- 3.- Friedrich, O.; Norris, R.D. y Erbacher, J. (2012): Evolution of mid-to Late Cretaceous oceans. A 55-million-year record of Earth's temperature and carbon cycle. *Geology* 40, 107-110.

- 4.- Zachos, J. C.; Dickens, Gerald R. y Zeebe R. (2008). An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. En *Nature* 451, 279 – 283.
- 5.- Hansen, J.; Sato, M.; Russell, G. y Kharecha, P. (2013). Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. En *Philosophical Transactions of the Royal Society A*.
- 6.- Lisiecki, L. E. y Raymo, M. E. (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic ^{18}O records. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 20, PA1003.
- 7.- Lambert F., Delmonte B. et al. (2008). Dust climate couplings over the past 800,000 years from the EPICA Dome C ice core. En *Nature* 452. doi:10.1038/nature06763.
- 8.- Walker M., Johnsen S. et al. (2009). Global Stratotype Section and Point for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *J. Quaternary Science* 24, 3-17.
- 9.- Marcott S.A., Shakun J.D. et al. (2013). A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. En *Science* 339, 1198-1201. doi: 10.1126/science.1228026.
- 10.- Earle, S. *Physical Geology*. Recuperado de <https://opentextbc.ca/geology/>.
- 11.- Climate Data Information. Milankovitch Cycles. Recuperado de <http://www.climate-data.info/forcing/milankovitch-cycles>.
- 12.- Miller G.H., Geirsdóttir A., Zhong Y., Larsen D.J., Otto Bliessner B.L., Holland M.M., Bailey D.A., Refsnider K.A., Lehman S.J., Southon J.R., Anderson C., Björnsson H. y Thorndarson T. Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea ice/ocean feedbacks. En *Geophysical Research Letters*. doi: 10.1029/2011GL050168.
- 13.- Tercera Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático". 2015.
- 14.- Datos publicados por la Scripps Institution of Oceanography at the University of California in San Diego. Recuperado de <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>.
- 15.- U.S. Environmental Protection Agency. Recuperado de <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-atmospheric-concentrations-greenhouse-gases>.
- 16.- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2006). "Segunda Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático".

Capítulo 5

- 1.- *Atlas de la nieve y el hielo en el mundo*. (1997). Moscú. Academia Rusa de Ciencias. 392.
- 2.- Liboutry, L. (1956). *Nieves y glaciares de Chile: fundamentos de glaciología*, Santiago de Chile.
- 3.- van Everdingen, R. (1998). *Multi-Language Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms*, University of Calgary, Calgary, Canada.
- 4.- UNESCO (1969). *Variations of existing glaciers*. Technical papers in hydrology Nº 3.
- 5.- Ahlmann, H. W. (1940). *The classification of glaciers by relative area distribution*. *Geogr. Annal.* V. 22, 191-205.
- 6.- Muller, F. (1980). *Glaciers and their fluctuations*. *Nature and Resources*. Vol XVI Nº 2. 5-11.
- 7.- Dyurgerov, M. B., Meier, M. F. (2005). *Glaciers and the Changing Earth System: a 2004 Snapshot*. Occasional Paper No. 58. Institute of Arctic and Alpine Research, University of Colorado.
- 8.- Taylor, L. D. (1962). *Ice structures, Burroughs Glacier, Southeast, Alaska*. Institute of Polar Studies. U.S.A., 106.
- 9.- van Andel, T. H. (1994). *New Views on an Old Planet: A History of Global Change* (2ª ed) Cambridge University Press. Cambridge (UK).
- 10.- Shumskiy P.A. (1975). "Los Glaciares". En: *Enciclopedia Soviética*. GSE, T. 14, p. 781-789.
- 11.- Kotlyakov V. M. (2007). "Previsión de Glaciología". En el libro: *La glaciación del norte de Eurasia en el pasado reciente y el futuro próximo*, Nauka, p. 263-266.
- 12.- Golubev G.N. (1976). *Hidrología de glaciares*. M., 230.
- 13.- Haeberli, W. (1998). *Historical evolution and operational aspects of worldwide glacier monitoring*.

- 14.- Ermolin E., Silva Busso A. y Glazovskiy A. (2015). *Ambientes glaciares y periglaciares: formación y desarrollo*. Buenos Aires: Green Cross Argentina.
- 15.- Aniya, M. and P. Skvarca. (1992). *Characteristics and Variations of Upsala and Moreno glaciers, Southern Patagonia*. Bulletin of Glacier Research, 10, 39-53.
- 16.- Hoffmann, J.A.J. et al. (1997). *Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and the adjacent sub-antarctic region during the present century*. Meteorol. Z.N.F. 6, 3-11.
- 17.- Cassassa, G., A.Rivera, M. Aniya Y R. Naruse. (2001). *Características glaciológicas del Campo de Hielo Patagónico Sur*. In M. Aniya and R. Naruse (eds.) *Glaciological and Geomorphological Studies in Patagonia, 1998 and 1999*. 95-110.
- 18.- Naruse, R. and P. Skvarca. (2000). *Dynamic Features of Thinning and Retreating Glaciar Upsala, a Lacustrine Calving Glacier in Southern Patagonia*. Arctic, Antarctic and Alpine Research, Vol. 32 (4), 485-491.
- 19.- Rott, H., M. Stuefer, W. Rack, P. Skvarca AND A. Eckstaller. (1998). *Mass fluxes and dynamics of Moreno Glacier, Southern Patagonia Icefield*. Geophysical Res. Letters, Vol. 25, N° 9, 1407-1410.
- 20.- Aniya, M., Naruse, R., Casassa, G., & Rivera, A. (1999). *Variations of Patagonian glaciers, South America, utilizing RADARSAT images*. Proceedings of the International Symposium on RADARSAT Application Development and Research Opportunity (ADRO), Montreal, Canada, October 13-15, 1998, CD-ROM.
- 21.- <http://www.glaciares.org.ar/>
- 22.- Lucas, R. (2010). *Glaciares del noroeste de Chubut*. Contribución IANIGLA-CONICET Mendoza.
- 23.- Espizua, L. (1983). *Glacier and moraine inventory on the eastern slopes of Cordón del Plata and Cordón del Portillo, Central Andes, Argentina*. INQUA Symposia on the genesis and lithology of Quaternary deposits. USA, Argentina. 1981-1982. A. Balkema, 381-395.
- 24.- Espizua, L., and Maldonado, G. (2007). *Glacier variations in the Central Andes (Mendoza, Argentina), from 1896 to 2005*. In: "Environmental change and rational water use" O. E. Scarpati (Comp.) Orientación Gráfica Editora Buenos Aires
- 25.- www.andesdeciertic/glaciaraquegana.cl
- 26.- <http://www.editorialrn.com.ar>
- 27.- Haerberli, M. Hoelzle & S. Suter, ed. *Into the second century of worldwide glacier monitoring: Prospects and strategies*, pp. 35-51. Paris: UNESCO.
- 28.- Mass Balance Bulletin, No.1-15 (1991- 2015). Zurich: WGMS, ICSU (WDS), IUGG (IACS), UNEP, UNESCO, WMO.
- 29.- Zemp, M. (2012). *The Monitoring of Glaciers at Local, Mountain, and Global Scale*. *Schriftenreihe Physische Geographie*, Vol. 65. University of Zurich, Switzerland.
- 30.- Abdussamatov, H. I. (2004). *Space solar limbograph*. Corbett, Ian F., ed. «*Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity*». Proc. of the International Astronomical Union 2004 (AUS223) (Cambridge University Press). pp. 605 – 606 doi:10.1017/S1743921304006969.
- 31.- Abdusamatov, H. I. (2013). «*Grand Minimum of the Total Solar Irradiance Leads to the Little Ice Age*». J. of Geology & Geosciences 2 (2). ISSN 2329-6755. doi:10.4172/2329-6755.1000113.

Capítulo 6

- 1.- Shiklomanov, I.A. (1999). *World water resources at the beginning of the 21st century*. París, Francia: Instituto Hidrológico del Estado (San Petersburgo) y UNESCO.
- 2.- UNESCO (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015*. Perusa, Italia: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos.
- 3.- Calcagno A., Mendiburu N. y Gaviño Novillo M. (2000). *Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina*. World Water Vision.
- 4.- Richey A.S., Thomas B.F., Lo M.-H., Reager J.T., Famiglietti J.S., Voss K., Swenson S. y Rodell M. *Quantifying renewable groundwater stress with GRACE*, Water Resource Res., 51, 5217-5238, doi:10.1002/ 2015WR017349.

- 5.- Auge, M.P. (2004). *Regiones hidrogeológicas de la República Argentina*. La Plata, Argentina.
- 6.- Auge M.P., Hernández M.A. y Hernández L. (2002). "Actualización del conocimiento del acuífero Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina". *Groundwater and human development*. Bocanegra E., Martínez D. y Massone H. (Eds.).
- 7.- Auge, M.P. (1997). *Investigación hidrogeológica de La Plata y alrededores* (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- 8.- Auge M.P. y Litter M. (2019) en *Congreso Internacional sobre Arsénico en el Ambiente*. Buenos Aires, Argentina.
- 9.- Pasig R.C., Fuertes A., Villena H., y Ríos J. (2004). Informe de Síntesis: Sistema Acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño. Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata en Relación con los efectos Hidrogeológicos de la Variabilidad y el Cambio Climático.
- 10.- Auge M. (2007). *El Acuífero Puelche en la Provincia de Buenos Aires y en la Mesopotamia*. Academia Nacional de Geografía.
- 11.- Hernandez, J y Martinis N. *Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la Provincia de Mendoza*. Instituto Nacional del Agua.
- 12.- Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (2009). Informe: El agua en Mendoza y su problemática ambiental.

Capítulo 7

- 1.- Fisheries Act. Justice Laws Website. Gobierno de Canadá. Recuperado de: <https://laws-lois.justice.gc.ca>.
- 2.- Pulp and Paper Effluent Regulations. Justice Laws Website. Gobierno de Canadá. Recuperado de: <https://laws-lois.justice.gc.ca>.
- 3.- National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) Permit Writers' Manual. United States Environmental Protection Agency.
- 4.- 2010 Pulp and Paper Environmental Effects Monitoring (EEM) Technical Guidance Document. Environment Canada.
- 5.- Decreto 90 Publicación 7/3/2001 – Ministerio Secretaria General de la Presidencia. República de Chile.
- 6.- Resolución N° 1089/82 - Reglamento para el Control del Vertimiento de Líquidos Residuales. Provincia de Santa Fe.
- 7.- Ley 6260 de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y Decreto Reglamentario 5837/91. Provincia de Entre Ríos.
- 8.- Resolución 65/2005 Secretaría del Agua y del Ambiente – Reglamento para el Control del Vertido de Líquidos Residuales para todos los Establecimientos ubicados en el Territorio de la Provincia ya sean industriales, comerciales o especiales. Provincia de Catamarca.
- 9.- Resolución N 885/2015 del Departamento de Aguas. Provincia De Río Negro.
- 10.- Decreto 847/16 - Reglamentación de Estándares y Normas sobre Vertidos para la Preservación del Recurso Hídrico Provincial. Provincia de Córdoba.
- 11.- Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- 12.- Resolución 778/96 – Departamento General de Irrigación -Reglamento General para el Control de Contaminación Hídrica. Provincia de Mendoza.



ISBN 978-587-85-0278-5



9 789878 164078 5