



Secretaría de Infraestructura  
y Política Hídrica  
Ministerio del Interior,  
Obras públicas y Vivienda  
Presidencia de la Nación

**COHIFE**  
CONSEJO HÍDRICO FEDERAL



# APUNTES SOBRE PLANIFICACIÓN, GESTIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

**Compiladores | Dr. Carlos Juan Schulz  
Dr. Rodolfo Fernando García**

**SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA Y POLÍTICA HÍDRICA  
CONSEJO HÍDRICO FEDERAL**

PLAN NACIONAL FEDERAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO 075/2011  
“COMPORTAMIENTO Y EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL ARSÉNICO  
EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA”

**Universidad Nacional de La Pampa  
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires**

1 DE SEPTIEMBRE DE 2018



*Esta publicación cuenta con el apoyo de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica y del Consejo Hídrico Federal, siendo la información de exclusiva responsabilidad de los compiladores.*

## Contenido

1.	Introducción	5
1.1.	El ciclo hidrológico y la acción antrópica	6
1.2.	El problema del agua en el mundo	9
1.3.	El agua y su influencia en la sociedad	10
1.4.	Situación de los recursos hídricos en el mundo y en argentina	11
1.5.	Principios básicos de la hidrología	13
1.6.	Cuenca hidrográfica y cuenca hidrogeológica	14
1.7.	Acuíferos y tipos de acuíferos	18
2.	Planificación Hidrológica	22
2.1.	Objetivos de la Planificación Hidrológica	22
2.2.	Concreción de los objetivos	24
2.3.	Beneficio y costes de los proyectos hidráulicos	26
2.4.	Planificación del agua en regiones áridas y semiáridas	28
2.5.	Caracterización hidrológica de las regiones áridas y semiáridas	29
2.5.	Caracterización social de la gestión de recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas	32
2.6.	Evaluación de la demanda	43
2.7.	Dotaciones	53
3.	Gestión Integrada de los recursos hídricos	54
3.1.	Aspectos básicos de la gestión	55
3.2.	Obstáculos para la gestión	57
3.3.	La gestión y sus herramientas	60
3.4.	Modelos matemáticos de gestión	61
3.5.	La información hidrológica como base para la toma de decisiones	68
4.	Tendencias actuales para la gestión y planificación de los recursos hídricos	69
4.1.	Conceptos actuales de desarrollo sostenible en la planificación	71
4.2.	Sistema soporte de decisión en la planificación y gestión	71
4.3.	Sistemas de información geográfica en la gestión	73
4.4.	Sistemas automáticos de información hidrológica	75
5.	Contenido del derecho de agua	77
5.1.	Naturaleza Jurídica	79

5.2.	Gestión de Aguas Subterráneas _____	87
5.3.	Consortio de usuarios _____	94
5.4.	Régimen del agua en el orden nacional y provincial _____	95
5.5.	Manejo de cuencas interprovinciales, internacionales e interjurisdiccionales _____	96
5.6.	Economía del medio ambiente. El valor del medio ambiente _____	101
6.	Calidad del Agua _____	107
6.1.	El agua y sus usos _____	107
6.2.	El Sistema recurso hídrico urbano y rural _____	121
6.3.	Sequías e Inundaciones _____	123
6.4.	Planificación y Gestión de los recursos hídricos en la Argentina _____	133
7.	Bibliografía consultada y citada _____	137

## Índice de Tablas

Tabla 1: Sensibilidad de los cultivos a las concentraciones de boro en el agua de riego. ....	116
Tabla 2: Riesgo de obstrucción en sistemas de riego. ....	116
Tabla 3: Clasificación del agua para consumo bovino. ....	118
Tabla 4: Guía de calidad de agua para el ganado y aves de corral. ....	120
Tabla 5: Comportamiento hidráulico del agua de lluvia en la Llanura Pampeana. ....	132

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Distribución del agua en el planeta (Fetter, 1988). ....	6
Ilustración 2: Esquema del ciclo hidrológico en la tierra (Fetter, 1988). ....	7
Ilustración 3: Mar de Aral. Su superficie disminuyó drásticamente por la desviación de los ríos para irrigación (Naciones Unidas, 2009). ....	8
Ilustración 4: Río influente (el río aporta o entrega agua al acuífero). ....	14
Ilustración 5: Río efluente (el río recibe agua del acuífero). ....	14
Ilustración 6: Red de drenaje de un volcán mexicano. ....	16
Ilustración 7: Diseño de distintos tipos de red drenaje. ....	16
Ilustración 8: Diferencia entre cuenca hidrográfica y cuenca hidrogeológica. ....	17
Ilustración 9: Acuífero libre, mostrando el nivel freático (Fetter, 1988). ....	19
Ilustración 10: Acuífero libre. En la zona no saturada existe una “falsa freática” o acuífero colgado (Fetter, 1988). ....	19
Ilustración 11: Acuífero confinado, mostrando pozos artesianos y surgentes (Fetter, 1988). ....	20
Ilustración 12: Acuíferos libre, semiconfinado y confinado (Fetter, 1988). ....	21
Ilustración 13: Esquema de un SIG. ....	74
Ilustración 14: Organización del trabajo a partir de información básica en un programa de SIG. ....	74
Ilustración 15: Esquema de red de estaciones y sistema de registro de información satelital. ....	76
Ilustración 16: Contaminación del agua en un pozo por efecto de una fosa séptica. ....	88
Ilustración 17: Contaminación del agua subterránea por lixiviados de un vertedero de residuos urbanos. ....	90
Ilustración 18: Zonas de protección de una captación (pozo). ....	92
Ilustración 19: explotación intensiva del agua subterránea. ....	94

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Normas para determinar las clases aptas, utilizables y no aptas para el riego de plantaciones. ....	115
--	-----

## Índice de Fotos

Foto 1: Sistema hidrográfico del río de La Plata. _____	15
Foto 2: Red de drenaje en los Andes. _____	15
Foto 3: Riego por goteo en un campo de cultivos. _____	117
Foto 4: Riego por aspersión con sistema de pivot. _____	117
Foto 5: Sistema de distribución de agua de bebida para cerdos de criaderos. _____	119
Foto 6: Sistema de bebedero para aves de criaderos. _____	119
Foto 7: Bovinos bebiendo agua de un sistema de almacenamiento rural. _____	119
Foto 8: Recursos hídricos urbanos. El río Ganges. _____	122
Foto 9: Recursos hídricos rurales. Manejo y control del agua para sistemas de riego rurales. _____	123
Foto 10: mortandad de vacunos por sequía extrema en África. _____	124
Foto 11: sequía extrema en Manila, Filipinas. _____	124
Foto 12: Competencia por extracción de agua subterránea en un pozo de la India. _____	125
Foto 13: Inundaciones extremas en el litoral argentino. _____	126
Foto 14: Inundaciones en la ciudad de La Plata, Argentina. _____	128
Foto 15: Inundaciones en la cuenca del río Salado, Argentina. _____	128
Foto 16: Ciudad de Laboulaye. Izquierda imagen del 24/04/2001. A la derecha imagen del 25/10/2001. _____	133

**MÓDULO 1.** Introducción. El ciclo hidrológico y la acción antrópica. El problema del agua en el mundo. El agua y su influencia en la sociedad. Situación de los recursos hídricos en el mundo y en la Argentina. Principios Básicos de la Hidrología. Cuenca Hidrográfica y Cuenca Hidrogeológica. Acuíferos. Tipos de Acuíferos.

---

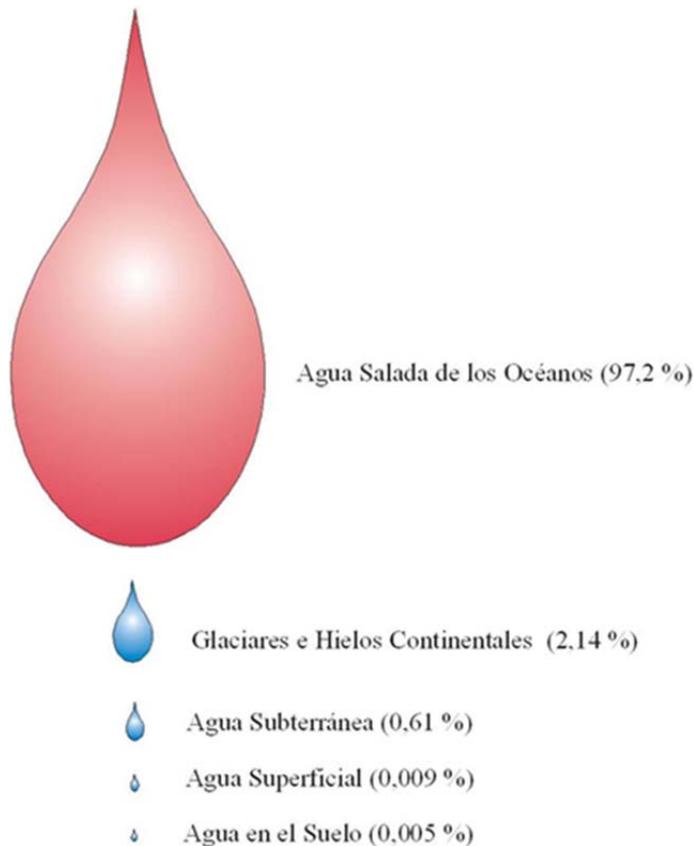
## 1. INTRODUCCIÓN

Se sabe que casi la totalidad de agua del planeta se encuentra en los océanos (97 %). Su volumen equivale a la evaporación oceánica media anual durante 3.000 años por lo que este valor puede tomarse como un orden de magnitud del tiempo que una molécula de agua permanece en el océano. En contraste, el volumen medio de vapor de agua que contiene la atmósfera equivale a 25 mm de lluvia. Si se tiene presente que la precipitación media anual en la tierra es de 1.000 mm, resultaría una lluvia media diaria de 2,7 mm, de lo que resulta que el tiempo de residencia de una molécula de agua en la atmósfera es de unos 8 o 10 días (Custodio & Llamas, 1996).

El volumen de agua que en un instante determinado contienen todos los cursos fluviales del mundo es muy pequeño ( $1.700 \text{ Km}^3$ ), pero sin embargo, hay que tener en cuenta que la velocidad con que circula el agua de los ríos es muy grande comparada con la mayoría de los otros medios. Si se asume que las aguas contenidas en todos los ríos del planeta estarían almacenadas en un recipiente sin recibir alimentación externa, y su caudal se vertiese hacia el mar con un caudal constante igual al caudal medio anual, el depósito quedaría completamente vacío en unos 15 o 20 días.

El valor del contenido de humedad en la zona no saturada del subsuelo es muy difícil de cuantificar y existen muchas dudas respecto a los tenores mostrados en el cuadro. Se considera, muy estimativamente, que el tiempo de permanencia del agua en la zona saturada sería de unas cuantas semanas; mientras que para aquellas aguas que pasan a formar parte de los reservorios subterráneos, con flujo, alcanzaría un tiempo mucho más amplio (años, miles de años e incluso decenas de miles de años).

La mayor reserva de agua dulce del planeta se encuentra en los casquetes polares de la Antártida y en el Ártico. El volumen ( $26.000.000 \text{ Km}^3$ ) es unas 200 veces superior al volumen contenido en todos los lagos de agua dulce del mundo. Si los casquetes polares se fundieran totalmente, el nivel actual del mar se elevaría aproximadamente 70 metros. Nace (1969, in Custodio & Llamas, 1996) considera que los hielos polares aportan cada año al mar unos  $2.500 \text{ Km}^3$ . El volumen de agua almacenada en el subsuelo (agua subterránea) es tal vez la más difícil de definir y estimar. Lvovitch (1967, in Custodio & Llamas, 1996) considera que la cantidad de agua subterránea es de  $60.000.000 \text{ Km}^3$  pero, de este volumen, únicamente unos  $4.000.000 \text{ Km}^3$  a  $8.3500.000 \text{ Km}^3$  intervendrían en el ciclo hidrológico, no extendiéndose más allá de los 4.000 metros de profundidad.



*Ilustración 1: Distribución del agua en el planeta (Fetter, 1988).*

### **1.1. El ciclo hidrológico y la acción antrópica**

El concepto de ciclo hidrológico involucra el movimiento o transferencia de las masas de agua desde un lugar a otro y desde un estado a otro. El movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente al “sol” que proporciona la energía suficiente para elevar el agua del suelo o de un cuerpo de agua superficial, al evaporarla. Otro factor de importancia es la fuerza de la gravedad, que permite que el agua condensada precipite y que una vez caída sobre la superficie, escurra hacia las zonas más deprimidas (Custodio & Llamas, 1996).

El ciclo del agua se inicia cuando una parte del vapor de agua de la atmósfera se condensa y se originan las precipitaciones en forma de lluvia o nieve. Se debe tener presente que no toda la lluvia alcanza la superficie de la tierra, ya que una parte se vuelve a evaporar inmediatamente durante su caída y otra es retenida o interceptada por la vegetación o por las superficies de edificios, carreteras, etc., y vuelve a la atmósfera en forma de vapor. De aquella agua que alcanza la superficie del terreno, una parte es retenida en pequeñas depresiones (charcos y aguadas) y en gran proporción retorna casi inmediatamente a la atmósfera por evaporación. Otra parte circula sobre la superficie y se concentra en pequeñas arroyadas y líneas de drenaje, que se reúnen en arroyos y luego en los ríos, constituyendo el agua de escurrimiento superficial, que tiene como destino final un lago o el mar, desde donde será evaporada o bien, se infiltrará en el terreno por donde circula.

Por último, hay una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno, conocida como infiltración, que se realiza a través de canales, fisuras y poros del suelo, a los que va llenando progresivamente. Un cierto volumen del agua infiltrada no desciende hasta la zona saturada o del agua subterránea propiamente dicha, sino que es retenida en los que se conoce como zona no saturada o zona de humedad del suelo, desde donde vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Establecer la cantidad que corresponde a una u otra es tarea muy difícil, por lo que es común que siempre se aplique el término de evapotranspiración para el conjunto del fenómeno (Fetter, 1988).

El movimiento del agua a través de un terreno se caracteriza por su relativa lentitud y su origen se debe fundamentalmente a la acción gravitatoria. En la zona no saturada, existen otras fuerzas (especialmente la tensión superficial) que originan muchas veces la presencia de una faja más o menos continua llamada faja capilar, desde donde el agua puede retornar a la superficie a través de la evaporación, transpiración o ambos fenómenos a la vez. Otras veces el agua subterránea alimenta directamente a los cauces fluviales, origina manantiales, o entrega sus caudales directamente al mar.

Excepto en las cuencas endorreicas de las zonas áridas o semiáridas (como las existentes en la Puna Argentina), la mayor parte de las aguas del escurrimiento fluvial y subterráneo terminan, más tarde o más temprano en el mar, por lo que se debe considerar a los océanos como la fase final del ciclo hidrológico, ya que de ellos vuelve a evaporarse y se re - inicia nuevamente todo el proceso.

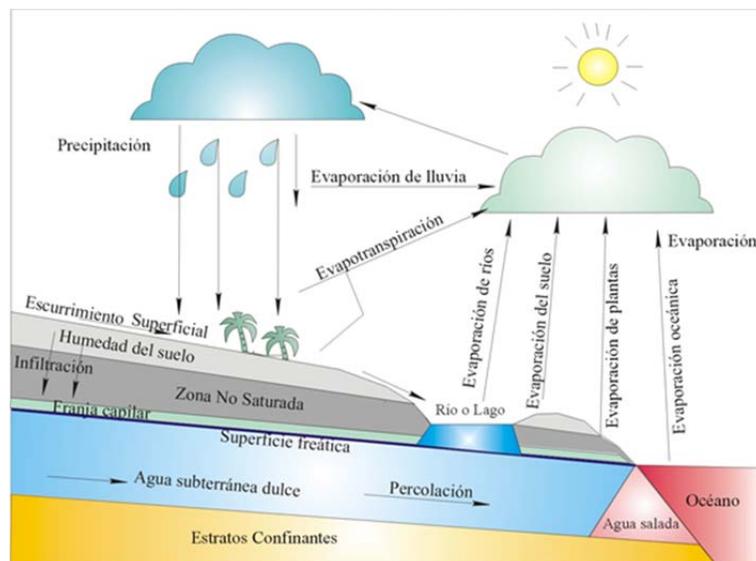


Ilustración 2: Esquema del ciclo hidrológico en la tierra (Fetter, 1988).

En muchas partes del mundo, el ciclo hidrológico natural ha sido afectado y modificado parcial e, incluso, totalmente ya que el hombre ha intervenido en alguna parte de este proceso. La construcción de grandes embalses para generación de energía eléctrica, regadío de plantaciones, etc., ha modificado no solamente el paisaje en algunos lugares, sino que han modificado sustancialmente el régimen de las aguas superficiales (ríos y lagos) e incluso de las aguas subterráneas. En otros casos, se han realizado trasvasamientos de cuencas, que dieron lugar a la desaparición de humedales naturales y otros ecosistemas, creación de ambientes artificiales (riego en zonas áridas) aumentando la tasa de evapotranspiración y modificando los balances naturales de agua.

Los recursos hídricos se enfrentan a una multitud de amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por las actividades humanas, como la contaminación, el cambio climático, el crecimiento urbano y cambios en el paisaje como la deforestación. Cada una de ellas tiene un impacto específico, por lo general directamente sobre los ecosistemas y, a su vez, sobre los recursos hídricos.

La extracción excesiva de agua, tanto superficial como subterránea, ha tenido efectos catastróficos. Un ejemplo sorprendente es la drástica reducción del Mar de Aral y del Lago Chad. Se está haciendo muy poco para atajar las causas del problema, como no corregir la gestión inadecuada del agua y la deforestación. En las últimas décadas se ha extraído mucha más agua de fuentes subterráneas que en el pasado. Los beneficios de la extracción de aguas subterráneas suelen ser efímeros, mientras que las consecuencias negativas, como la reducción de los niveles de agua y el agotamiento de los recursos, pueden durar mucho tiempo.



*Ilustración 3: Mar de Aral. Su superficie disminuyó drásticamente por la desviación de los ríos para irrigación (Naciones Unidas, 2009).*

## 1.2. El problema del agua en el mundo

La demanda de agua en el mundo procede básicamente de cuatro actividades: la agricultura, la producción de energía, los usos industriales y el consumo humano.

Los cultivos y la ganadería hacen un uso intensivo del agua, utilizando el 70 % de la cantidad total. Se espera que la demanda mundial de alimentos crezca un 70 % hasta 2050, tratando de asegurar que ese espectacular incremento de alimentos, realmente llegue a la mesa de la gente.

El agua en la industria absorbe una media del 22 % del consumo mundial y una parte importante se utiliza en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, más de mil millones de personas carecen de electricidad y otras fuentes limpias de energía. Se espera que el consumo mundial de energía aumente un 50 % de aquí al año 2035, como consecuencia del crecimiento de la población y el desarrollo de la actividad económica. El 8 % restante, se utiliza para el consumo humano.

La población urbana mundial crecerá hasta los 6.300 millones en 2050. En la actualidad, el número de núcleos urbanos desatendidos es ya considerable, y se estima que el número de habitantes de ciudades sin abastecimiento y saneamiento de agua en condiciones aptas para las necesidades básicas del ser humano, ha crecido un 20 % en los últimos años.

Casi 1.000 millones de personas carecen de acceso a fuentes mejoradas de agua potable y el número de personas que no tienen acceso al agua corriente en las ciudades es mayor en la actualidad que a finales de los años 1990. Además, 1.400 millones de personas no disponen de electricidad en sus hogares. Como se señalaba en el año 2010, en el mundo hay 2.600 millones de personas que no disponen de servicios mejorados de saneamiento.

Los recursos hídricos son renovables (excepto ciertas aguas subterráneas), con enormes diferencias de disponibilidad y amplias variaciones de precipitación estacional y anual en diferentes partes del mundo. La precipitación constituye la principal fuente de agua para todos los usos humanos y ecosistemas. Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo, se evapora en la atmósfera mediante la evapotranspiración y escurre hasta el mar a través de los ríos o hasta los lagos y humedales. El agua de la evapotranspiración mantiene los bosques, las tierras de pastoreo y de cultivo no irrigadas, así como los ecosistemas. El ser humano extrae un 8 % del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26 % de la evapotranspiración anual y del 54 % de las aguas de escorrentía accesibles. El control que la humanidad ejerce sobre las aguas de escorrentía es en el presente, global y el hombre desempeña actualmente un papel importante en el ciclo hidrológico (Unesco, 2003).

El consumo de agua per cápita aumenta (debido a la mejora de los niveles de vida), la población crece y en consecuencia el porcentaje de agua objeto de apropiación se eleva. Si se suman las variaciones espaciales y temporales del agua disponible, se puede expresar que la cantidad de agua existente para todos los usos está comenzando a escasear y ello puede conllevar a una crisis del agua.

Por otro lado, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. Unos 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Aunque los datos confiables sobre la extensión y gravedad de la contaminación son incompletos, se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km<sup>3</sup>. Asumiendo que un litro de aguas residuales

contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km<sup>3</sup>. Como siempre, las poblaciones más pobres resultan las más afectadas, con un 50 % de la población de los países en desarrollo expuesta a fuentes de agua contaminadas.

El efecto que el cambio climático produce sobre los recursos hídricos es, por ahora, incierto. La precipitación aumentará probablemente desde las latitudes 30º N y 30º S, pero muchas regiones tropicales y subtropicales recibirán posiblemente una cantidad de lluvia inferior y más irregular. Con una tendencia perceptible hacia condiciones meteorológicas extremas más frecuentes, es probable que las inundaciones, sequías, avalanchas de lodo, tifones y ciclones aumenten. Es posible que disminuyan los caudales de los ríos en períodos de flujo escaso y la calidad del agua empeorará, sin duda, debido al aumento de las cargas contaminantes y de la temperatura del agua.

### **1.3. El agua y su influencia en la sociedad**

Las enfermedades relacionadas con el agua son una de las causas más comunes de enfermedad y de muerte y afectan principalmente a los pobres en los países en desarrollo. Las enfermedades transmitidas por el agua que originan dolencias gastrointestinales (incluyendo la diarrea) son causadas por beber agua contaminada; las enfermedades transmitidas por vector (por ejemplo la malaria o la esquistosomiasis) provienen de insectos y caracoles que se reproducen en ecosistemas acuáticos; las enfermedades que desaparecen con el agua (por ejemplo la sarna o el tracoma) están causadas por bacterias o parásitos adquiridos cuando no se dispone de suficiente agua para la higiene básica (lavado de ropa, ducha, etc.). En el año 2000, la tasa de mortalidad estimada por diarreas relacionadas con la falta de sistemas de saneamiento o de higiene y por otras enfermedades relacionadas con el saneamiento del agua (esquistosomiasis, tracoma, infecciones intestinales por helmintos) fue de 2.213.000 personas.

Según una estimación, la malaria sería responsable de la muerte de un millón de individuos. Más de 2.000 millones de personas quedaron infectadas en el mundo por esquistosomas y helmintos transmitidos por el suelo, de las cuales 300 millones sufrieron una enfermedad grave. La mayoría de los afectados por mortalidad y morbilidad relacionadas con el agua son niños menores de cinco años. La tragedia es que el peso de estas enfermedades es en gran parte evitable. Las vacunas contra la mayor parte de las enfermedades relacionadas con el agua, incluyendo la malaria, el dengue y las infecciones gastrointestinales, son inexistentes. La resistencia a los insecticidas ha socavado la efectividad de los programas de control de los vectores de enfermedades y la resistencia de las bacterias ante los antibióticos y de los parásitos ante otros fármacos es creciente. En el círculo vicioso de la pobreza y la enfermedad, el agua y el saneamiento insuficientes constituyen a la vez la causa y el efecto: aquellos que no disponen de un suministro de agua suficiente y abordable son, invariablemente, los más pobres. Si el abastecimiento de agua y el saneamiento básico fueran ampliados a aquéllos que hasta el día de hoy no conocen esos servicios, se estima que la carga de las diarreas infecciosas se reduciría en un 17 % anual. Si se llevase a cabo un suministro de agua bien regulado de conducción universal por cañerías y un saneamiento completo, se reduciría en alrededor 70 % por año (Unesco, 2003).

La principal fuente de suministro de alimentos del mundo es la agricultura, que incluye cultivos, ganado, piscicultura y silvicultura. Con una agricultura no controlada se logra alimentar a unos 500 millones de personas; por eso, para alimentar la población mundial actual de 6 mil millones de personas es necesario recurrir a la agricultura sistemática. Por otro lado, la agricultura es, a nivel local, el epicentro de diversos sistemas económicos rurales.

La mayor parte de la agricultura depende de la lluvia, pero las tierras de regadío representan alrededor de una quinta parte de la zona cultivable total de los países en desarrollo. El riego consume alrededor de un 15 % del agua de uso agrícola, ascendiendo a unos 2.000-2.500 km<sup>3</sup> al año. En los países en desarrollo, la tierra de regadío produjo en 1998 dos quintos del total de las cosechas y tres quintos de los cereales. Estos últimos constituyen el cultivo más importante, proporcionando el 56 % de las calorías consumidas. Las oleaginosas siguen en orden de importancia. Los países desarrollados cuentan con alrededor del 25 % de las zonas irrigadas del mundo. Puesto que la población de estos países crece lentamente, la mayor parte del desarrollo en materia de regadíos se ha de llevar a cabo en el mundo en desarrollo, donde el crecimiento demográfico es elevado.

El riego consume actualmente el 70 % del insumo total de agua. Esta cantidad aumentará en un 14 % en los próximos treinta años, ya que la zona de regadío se ampliará en un 20 %. Hacia 2030, el 60 % del total de las tierras potencialmente regables se encontrarán en explotación. De los 93 países en desarrollo estudiados por la FAO, diez están ya utilizando un 40 % de su agua dulce renovable para regadío, que es el nivel a partir del cual puede tornarse difícil elegir entre la agricultura y otros usos del agua. En Asia meridional se habrá alcanzado este nivel del 40 % en 2030 y en Medio Oriente y en el norte de África alrededor del 58 %. En cuanto al África subsahariana, América Latina y el este de Asia, por el contrario, la demanda de agua de riego estará situada por debajo del umbral crítico, aunque pueden presentarse graves problemas a nivel local. El agua subterránea poco profunda es una importante fuente de agua de regadío, pero el exceso de bombeo de los acuíferos, la contaminación debida a sustancias agroquímicas y la extracción excesiva de aguas subterráneas fósiles presentan numerosos problemas. Los productos químicos agrícolas (fertilizantes y pesticidas) constituyen en general una causa principal de contaminación del agua, mientras que los nutrientes de los abonos causan graves problemas eutróficos en aguas superficiales de todo el mundo.

#### **1.4. Situación de los recursos hídricos en el mundo y en argentina**

Los recursos hídricos mundiales deben responder a múltiples demandas: agua potable, higiene, producción de alimentos, energía y bienes industriales, y mantenimiento de los ecosistemas naturales. Sin embargo, los recursos hídricos globales, son limitados y están desigualmente distribuidos. Esta situación complica la gestión del agua y el trabajo de los responsables de la toma de decisiones, que tienen que afrontar el desafío de gestionar y desarrollar de forma sostenible unos recursos hídricos sometidos a las presiones del crecimiento económico, el gran aumento de la población y el cambio climático (INA, 2010).

En últimos años, la comunidad internacional ha tomado mayor conciencia de la necesidad de desarrollar prácticas sostenibles para la protección, la gestión y el uso eficiente de los recursos hídricos. Las unidades naturales, como las cuencas hídricas y los sistemas acuíferos, son cada vez más reconocidas como los elementos básicos en los programas regionales, nacionales e internacionales. Sin embargo, se debe señalar que aun hoy en muchos países (especialmente en los países emergentes y subdesarrollados), las prácticas de gestión son mínimas, inexistentes o bien solo se consideran como ideas abstractas y teóricas que muchas veces no logran superar la etapa de la “buena disposición y entusiasmo” y, lamentablemente, quedan expresadas solamente como “slogan” de buenas prácticas. Las presiones sociales, ambientales y económicas sobre el recurso hídrico, tiene como consecuencia un incremento sostenido del uso del agua; mientras que en la mayoría de los países todavía las toma de decisiones respecto a este recurso, sigue respondiendo a consideraciones políticas y económicas a corto plazo lo que, sin lugar a dudas, es totalmente contrario a la visión que se debe tener para implementar con éxito medidas de sustentabilidad de uno de los recursos naturales más preciados con que cuenta la humanidad.

Desde hace ya unos años en casi todo el mundo se observa un notable fenómeno de migración desde las zonas rurales hacia las grandes ciudades o regiones urbanas. Esta situación está directamente vinculada a la expectativa de una mejor calidad de vida de las personas que de esta forma, se asienta en grandes conglomerados urbanos a los cuales luego hay que atender con los servicios básicos, entre ellos, el agua para consumo humano y los sistemas de saneamiento. Esta situación migratoria es especialmente notable en la mayoría de los países africanos, asiáticos y de América Latina ya que, por ejemplo, en Europa, en la actualidad se observa un fenómeno inverso, es decir que se produce una migración de las poblaciones urbanas hacia pequeñas zonas rurales.

La demanda de agua crece sostenidamente en el mundo debido principalmente al constante incremento de la población que solicita agua para consumo, agua para sistemas sanitarios, agua para riego de plantaciones ya que la agricultura debe incrementar la superficie cultivada para brindar más alimentos, agua para la industria ya que ésta incrementa su producción para satisfacer nuevas demandas, agua para generación de energía eléctrica, etc., lo que brinda una idea de la enorme presión a los que están sometidos los recursos hídricos.

La República Argentina se caracteriza por que aproximadamente el 75% de su territorio se encuentra en un ambiente árido a semiárido (con precipitaciones medias menores a 800 mm/año). Los recursos hídricos superficiales (ríos y arroyos) se encuentran distribuidos de una forma muy irregular, atendiendo a las particularidades climáticas de cada región. Los reservorios de agua subterránea (acuíferos) aun, en muchos lugares del país, son poco conocidos a pesar de que en muchas regiones éstos sistemas naturales de almacenamiento de agua son indispensables para los distintos usos.

Los sectores de agua potable y saneamiento y de riego, sobresalen entre otros usos consuntivos del agua. El riego demanda un 70% del total, seguido por el abastecimiento municipal, el abrevado de ganado y el uso industrial. El 68% de la superficie bajo riego se ubica en las regiones áridas y semiáridas del país y el 32% restante, en las regiones húmedas y se trata de riego complementario o riego para arroz. El 74% de los sistemas o áreas pertenecen o son administradas por el sector público y el 26% por el sector privado. Aunque el área bajo riego representa solamente 5% del área agrícola del país (30 millones de hectáreas), su participación en el valor de la producción sectorial ha oscilado entre 25% y 38% (INA, 2005).

De acuerdo al Censo Nacional 2001, el 78% de la población de todo el país estaba abastecida por sistemas de agua potable por red, mientras que el 46,6% de esta población disponía de servicios de evacuación de excretas por red. El 18% de la población urbana utilizaba sistemas individuales para la evacuación de efluentes cloacales, tales como cámara séptica y pozo absorbente; por lo que la población urbana que tenía acceso a un sistema cloacal seguro alcanzaba aproximadamente al 65%. El 30% de la población rural dispone de agua potable por red mientras que sólo el 1% evacua sus excretas a una red colectora domiciliaria, en tanto, el 48% de la población rural dispone de sistemas individuales de descarga de efluentes (cámara séptica y pozo absorbente). El promedio nacional de producción de agua por habitante servido se estima en 380 l/hab/día, con un rango amplio de variación entre las distintas provincias, que oscila entre un máximo de 654 l/hab/día en la provincia de San Juan y un mínimo de 168 l/hab/día en la provincia de La Pampa. El consumo medio real sobre la base de los resultados de sistemas que operan con micro medición (Bahía Blanca en la provincia de Buenos Aires y la provincia de Jujuy) es del orden de los 180 l/hab/día (INA, 2005).

## 1.5. Principios básicos de la hidrología

El escurrimiento es la parte del ciclo hidrológico, en la cual el agua precipitada circula sobre la superficie del continente iniciando el retorno, ya sea hacia el mar, hacia la zona de recarga de algún recipiente subterráneo, o para llegar a algún reservorio superficial desde donde se evapora. El escurrimiento es un fenómeno estrictamente superficial del agua. Su valor está en función de la cantidad, distribución e intensidad de las precipitaciones y de factores relacionados con: topografía, vegetación, y propiedades físicas de los sedimentos superficiales.

Los factores fisiográficos que afectan el drenaje superficial son, entre otros, el uso y tipo de suelo, pendiente topográfica, superficie de la cuenca hidrográfica, etc. El uso del suelo es importante ya que un suelo plantado y con vegetación abundante, retiene más el agua de lluvia y produce mayor evapotranspiración, dando lugar a una componente menor de escurrimiento fluvial, que el mismo tipo de suelo sin vegetación. En zonas urbanizadas, se produce un incremento de la componente de escurrimiento y un marcado decrecimiento de la infiltración. El tipo de suelo (forma, estructura, textura, etc.), influye notablemente en la capacidad de infiltración, de esta forma un suelo permeable, poco evolucionado, suele tener mayor capacidad de absorción de agua y por lo tanto disminuye la componente de escurrimiento, a diferencia de un suelo estructurado y texturalmente fino, que tiende a dar lugar una mayor componente de escorrentía.

La pendiente topográfica juega un papel preponderante al momento que ocurre una lluvia en una cuenca cualquiera; de esta forma y bajo las mismas condiciones de textura de los suelos, permeabilidad, vegetación y uso del suelo, la componente de escurrimiento fluvial es mayor a medida que se incrementa la pendiente topográfica. La pendiente media de la cuenca es un factor decisivo en la determinación del tiempo de concentración de una creciente y del comportamiento del escurrimiento.

Un factor importante en la componente de escurrimiento fluvial es el área de la cuenca hidrográfica. Generalmente, una cuenca de gran extensión, entrega caudales más regulares al colector principal, ya que reciben aportaciones de varias regiones climáticas y los factores que producen variaciones no alcanzan a afectar nunca por igual a toda el área. El relieve de la cuenca viene definido por la curva hipsométrica, que representa en ordenadas la altitud y en abscisas el porcentaje de área de la cuenca situada por encima de dicha altitud. La forma de una cuenca afecta al escurrimiento fluvial. Normalmente, para el análisis de forma se emplean el índice de Gravelius y el coeficiente de Compacidad.

Las características litológicas y estructurales (la geología) de una cuenca hidrográfica determinan entre otros, la densidad de drenaje y el tipo de red hídrica. La conjunción de factores geológicos (litología, permeabilidad, estructura, etc.), climáticos y fisiográficos determinará si una cuenca presenta un patrón dendrítico, pinnadas, rectangulares, paralelas, enrejado, anulares, centrípetas, radiales, etc.

Como se conoce, la materia prima para que ocurra escurrimiento fluvial es la presencia de precipitaciones en cualquiera de sus formas (nieve, granizo, lluvias, rocío). La respuesta de un curso fluvial a las precipitaciones está en función de numerosos aspectos tales como intensidad y distribución de las lluvias, ambiente climático imperante, dimensiones de la cuenca hidrográfica, tipo de suelos y rocas, vegetación, etc. De acuerdo a la región climática considerada, un curso fluvial puede comportarse como influente o efluente, respecto al agua subterránea. Se dice que un curso es influente cuando aporta agua al reservorio subterráneo y, es efluente cuando recibe aportes desde los acuíferos. Un curso fluvial, en un mismo año (según la época considerada) puede ser influente o efluente; también, a lo largo de su extensión, un curso de agua puede ser influente y en otro efluente, o viceversa.

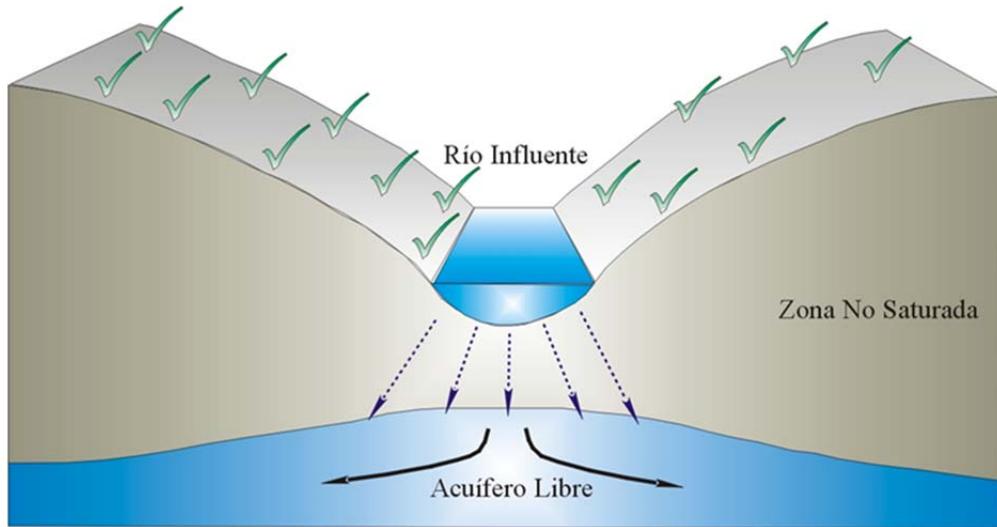


Ilustración 4: Río influente (el río aporta o entrega agua al acuífero).

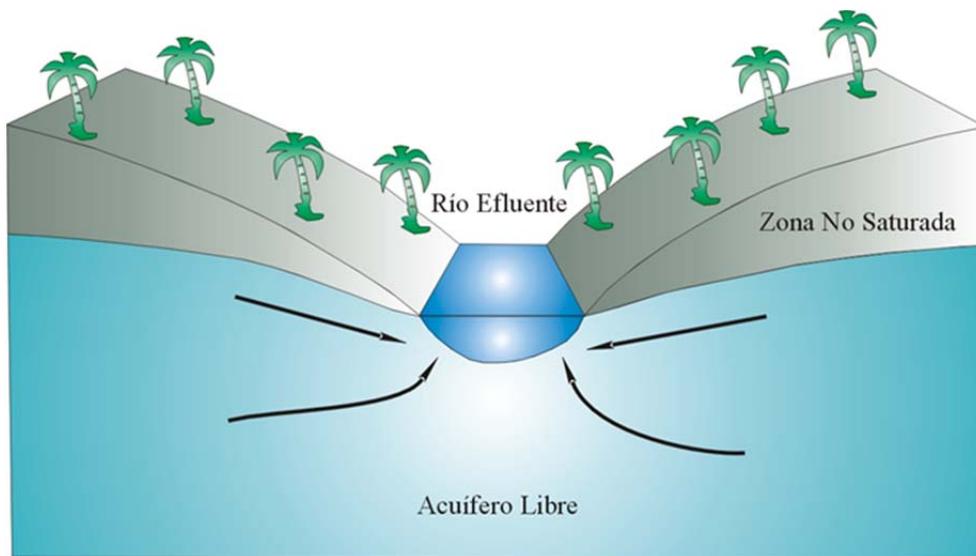


Ilustración 5: Río efluente (el río recibe agua del acuífero).

### 1.6. Cuenca hidrográfica y cuenca hidrogeológica

La Cuenca Hidrográfica es la unidad que está definida por la topografía, por lo que es fácilmente identificable y delimitable en un mapa topográfico. Esta unidad corresponde al lugar geométrico donde una molécula de agua precipitada se moviliza aguas abajo por influencia de la gravedad y alcanza un curso fluvial; es el dominio de las aguas superficiales.



*Foto 1: Sistema hidrográfico del río de La Plata.*



*Foto 2: Red de drenaje en los Andes.*

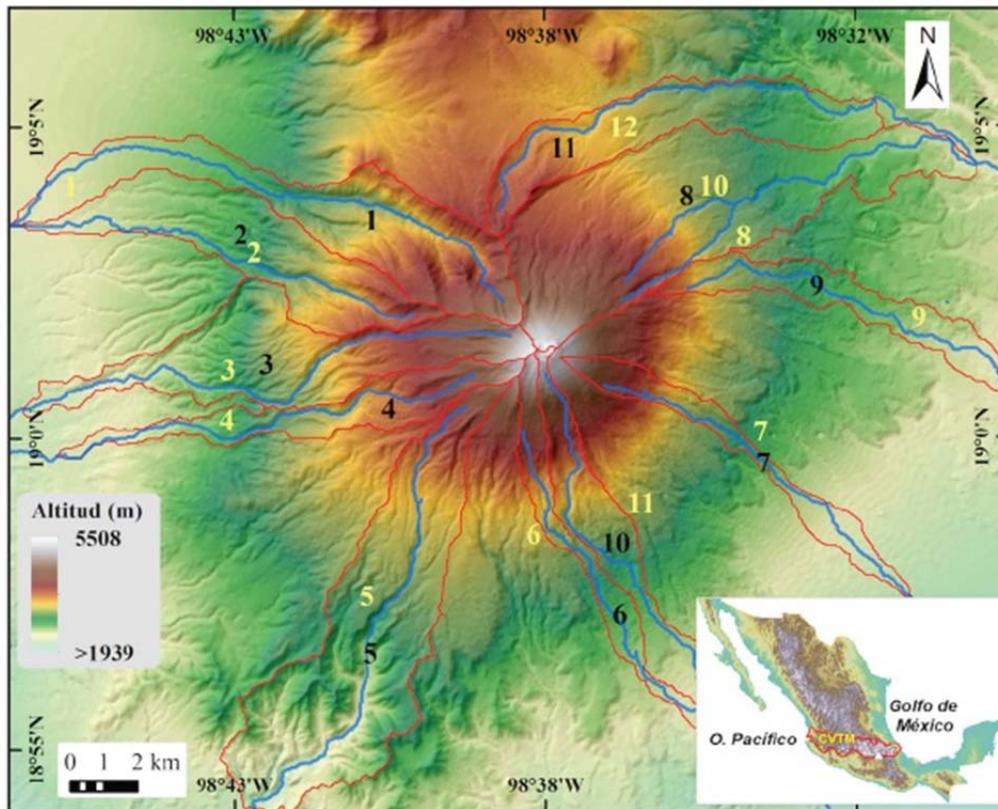
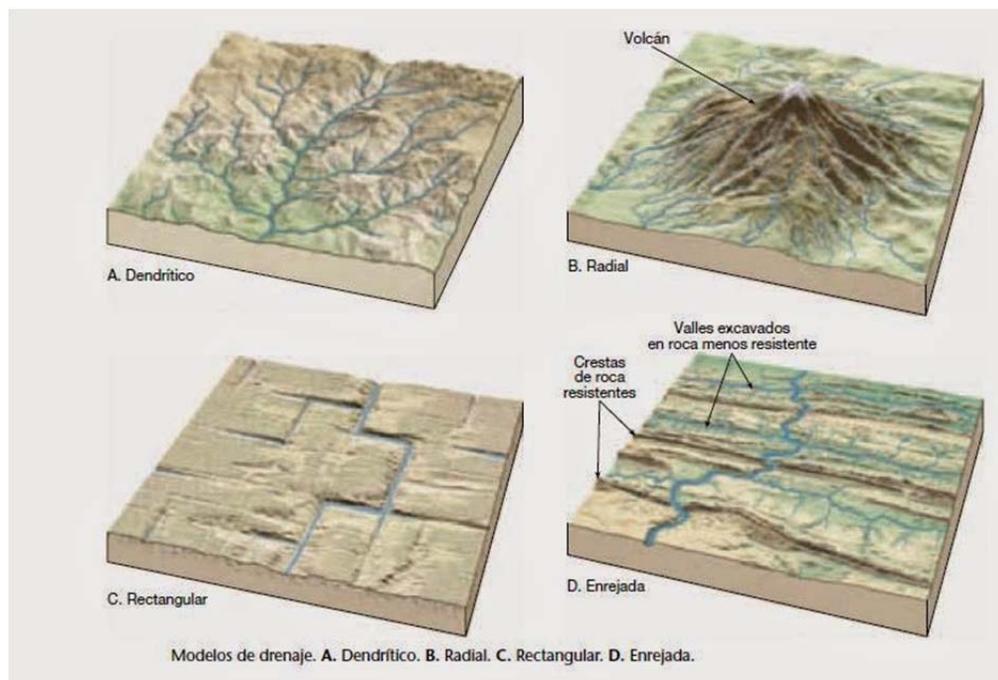


Ilustración 6: Red de drenaje de un volcán mexicano.



Modelos de drenaje. A. Dendrítico. B. Radial. C. Rectangular. D. Enrejada.

Ilustración 7: Diseño de distintos tipos de red drenaje.

La cuenca Hidrogeológica, a diferencia de la anterior, es un concepto que engloba exclusivamente a las aguas subterráneas y su configuración y límites están definidos por la estructura de las rocas. Es obvio que en muchos lugares puede existir coincidencia entre la cuenca hidrográfica y la cuenca hidrogeológica, pero lo normal es que ambas sean muy diferentes entre sí.

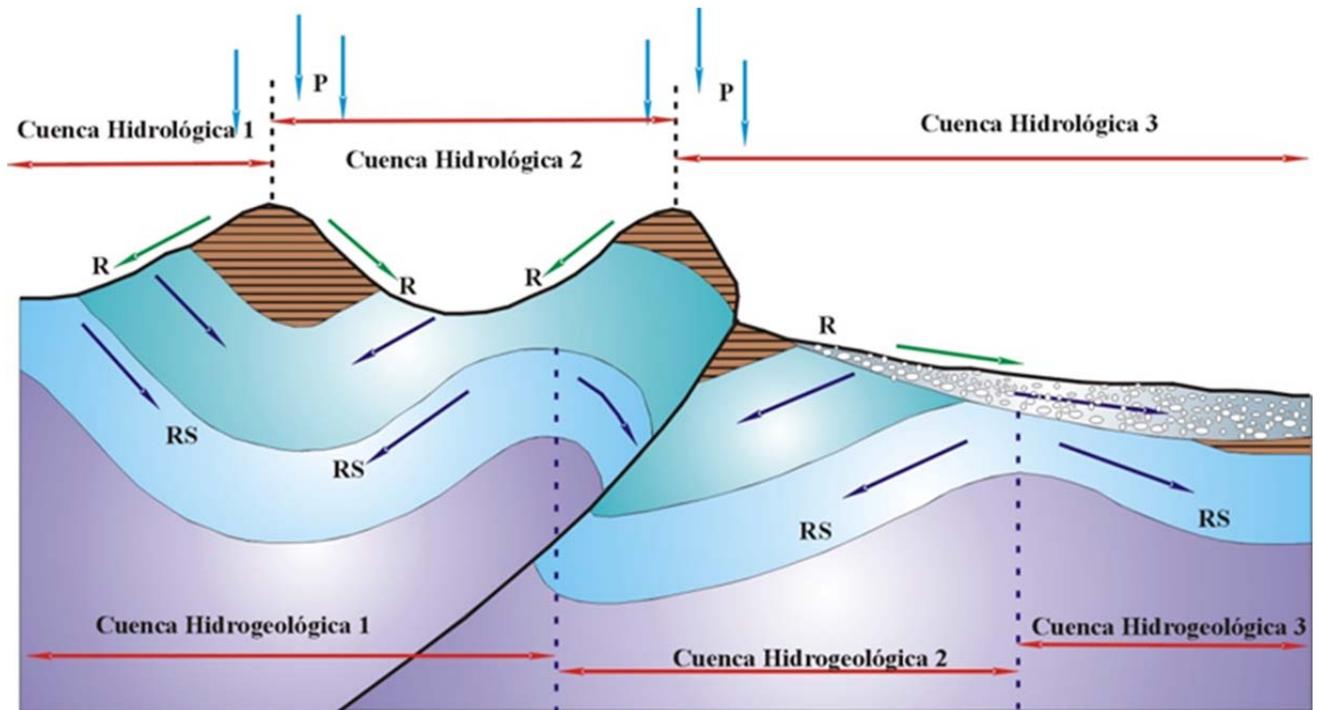


Ilustración 8: Diferencia entre cuenca hidrográfica y cuenca hidrogeológica.

Cuando existe una interacción entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas en una cuenca, es porque existe alguna conexión entre la cuenca hidrográfica y la cuenca hidrogeológica y esta situación tiene una importancia mayúscula en los estudios tendientes a establecer el balance de agua en una región cualquiera. Así, por ejemplo (principalmente en las regiones áridas y semiáridas) cuando en una región determinada no se producen desde hace mucho tiempo precipitaciones, un curso fluvial puede continuar transportando agua superficial por las siguientes razones:

- ✓ Nieve o hielo que se están fundiendo en algunos sectores de la cuenca hidrográfica.
- ✓ Almacenamiento superficial como lagos naturales y embalses artificiales.
- ✓ Almacenamiento en los cuerpos de agua subterráneos (acuíferos).

## 1.7. Acuíferos y tipos de acuíferos

El estudio del agua subterránea es importante para la realización de obras de ingeniería, para la ejecución de investigaciones geológicas y, muy especialmente, para el desarrollo de obras de captación de agua con fines de abastecimiento para satisfacer las necesidades del hombre. Las formaciones geológicas en que se acumula el agua subterránea y que son capaces de cederla reciben el nombre de acuíferos. Los acuíferos sirven como conductos de transmisión y como depósitos de almacenamiento. Como conductos de transmisión, transportan el agua subterránea de las áreas de recarga, hacia lagos, pantanos, manantiales, pozos y otras estructuras de captación. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizadas cuando la extracción exceda a la recarga y, a la vez, almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción (PIEB, 2000).

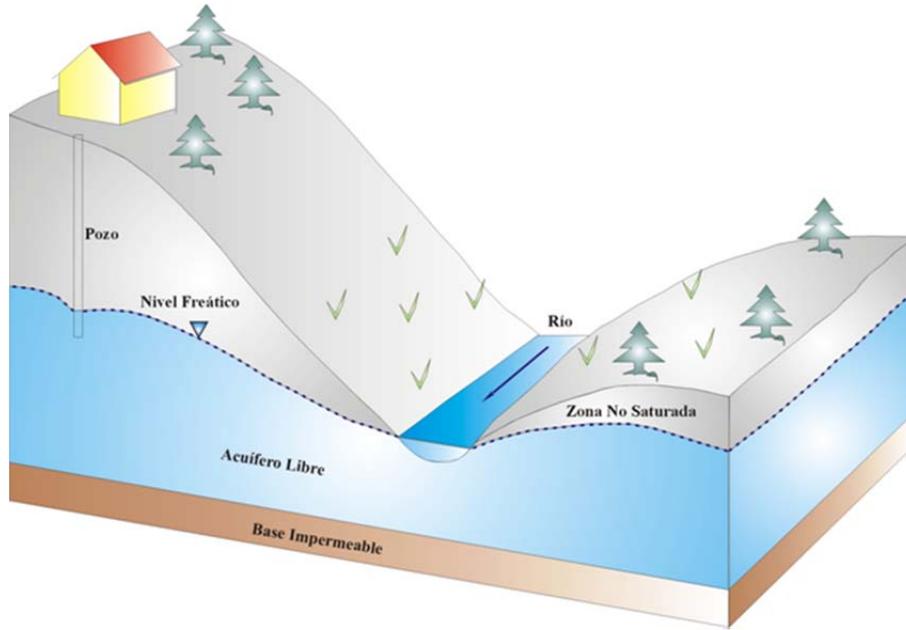
No todas las formaciones geológicas poseen las propiedades que caracterizan a un acuífero, es decir, que sus intersticios o espacios huecos, sean capaces de almacenar el agua y a la vez transmitirla. Los espacios huecos o intersticios que presentan las rocas que componen los acuíferos, pueden ser poros, como es el caso de muchas rocas sedimentarias inconsolidadas (gravas, arenas, etc.) y consolidadas (areniscas, conglomerados, etc.); también esos espacios huecos pueden deberse a la presencia de fracturas o fisuras en distintos tipos de rocas (sedimentarias, ígneas o metamórficas) y, por último, los huecos pueden presentarse como canales y cavernas de disolución en ciertos tipos de rocas como calizas, algunas rocas volcánicas, etc.

Los acuíferos, que son unidades geológicas que almacenan y transmiten agua en cantidades económicamente explotables, pueden encontrarse en diversos ambientes geológicos, en contacto directo con la atmósfera o bien, desconectados parcial o totalmente de ésta y por lo tanto, sometidos a cargas hidráulicas muy distintas. Desde este punto de vista se pueden clasificar a los acuíferos en:

1. Acuíferos Libres, Freáticos o No Confinados
2. Acuíferos Confinados, Cautivos o Artesianos
3. Acuíferos Semiconfinados (Leaky aquifers)
4. Acuíferos Semilibres

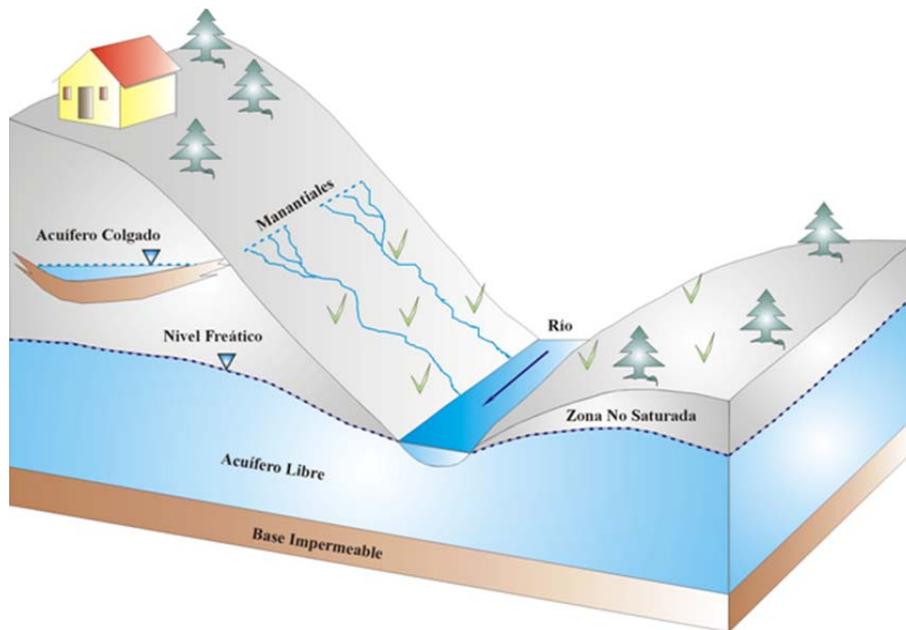
### 1. Acuífero Libre o Freático

Los acuíferos libres son aquellos en que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica como límite superior de la zona de saturación. Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel a que ella se eleva, respecto a otro de referencia, se llama nivel freático. Está formado en general por un estrato permeable parcialmente saturado en agua que yace sobre otro estrato impermeable o relativamente impermeable. La profundidad de este sustrato impermeable varía de acuerdo al medio geológico, por ejemplo, en zonas donde existen potentes depósitos sedimentarios, la profundidad se puede localizar a varias decenas o cientos de metros.



*Ilustración 9: Acuífero libre, mostrando el nivel freático (Fetter, 1988).*

En la mayoría de los casos, existe solamente un nivel freático, pero en otros a causa de la presencia de acuitardos de pequeñas dimensiones relativas, pueden existir acuíferos que se denominan acuíferos colgados con niveles freáticos adicionales.



*Ilustración 10: Acuífero libre. En la zona no saturada existe una "falsa freática" o acuífero colgado (Fetter, 1988).*

En algunos acuíferos libres compuestos de partículas finas, el drenaje por gravedad de los poros con frecuencia puede que no sea instantáneo, y en ese caso, el acuífero entrega el agua un cierto tiempo después de que el nivel freático desciende en el mismo. A este tipo de acuíferos se le denomina libre con entrega retardada.

## 2. Acuífero Confinado o Cautivo

Los acuíferos confinados, cautivos o artesianos, son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos impermeables o prácticamente impermeables (una inferior y otra superior). En estos acuíferos el agua está sometida, en general, a una presión mayor que la atmosférica y al perforar un pozo, el agua se eleva por encima de la parte superior (techo) del acuífero hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico. La superficie imaginaria que representa la carga piezométrica en los distintos puntos del acuífero se conoce como superficie piezométrica. Se debe recordar en este punto que, tanto el sustrato como el techo impermeable presentan morfología y posición estables, mientras que la superficie piezométrica presenta variaciones de altitud y forma. En algunos casos, la superficie piezométrica puede estar por encima del terreno natural por lo que un pozo perforado en el lugar fluirá naturalmente. Los acuíferos confinados se conocen también como artesianos a causa de que en la región francesa de Artois fue el primer registro que se tiene de perforación de pozos profundos en acuíferos confinados, alrededor del año 1750.

De acuerdo a la posición dentro de un mismo acuífero, se puede advertir un comportamiento distinto de los pozos que se realicen en la unidad. De esta forma, un acuífero puede iniciarse como un acuífero libre (respecto a la zona de recarga), luego pasar a semiconfinado y por último, confinado totalmente. Si un pozo alcanza un nivel confinado con suficiente nivel energético (superficie piezométrica o potenciométrica) y está localizado en una posición topográfica favorable, puede alcanzar a ser un pozo surgente.

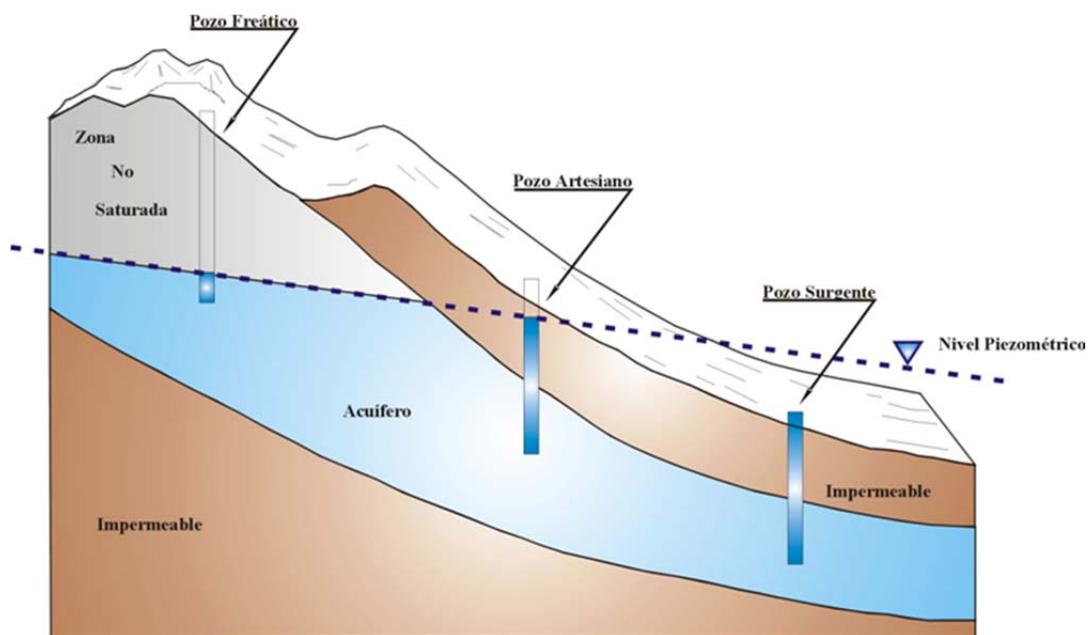


Ilustración 11: Acuífero confinado, mostrando pozos artesianos y surgentes (Fetter, 1988).

### 3. Acuíferos Semiconfinados

Son acuíferos completamente saturados sometidos a carga hidráulica y que están limitados en su parte superior por una capa **semipermeable (acuitardo)** y en su parte inferior por una capa impermeable (acuífugo) o también por otro acuitardo. En este tipo de acuífero, la disminución de la carga piezométrica originada por el bombeo, por ejemplo, inducirá un flujo vertical del agua contenida en el acuitardo, que actuará como recarga del acuífero o bien permitirá el paso del agua desde otro acuífero superior. Las características del acuitardo que se encuentra sobre o debajo de un acuífero semiconfinado, son tales que puede ignorarse la componente horizontal del flujo del acuitardo.

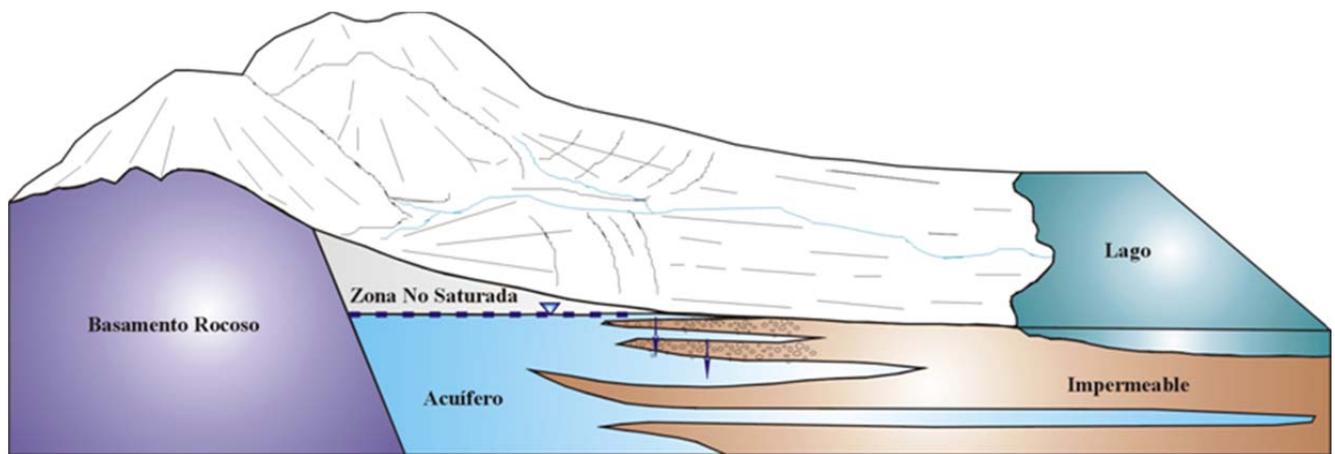


Ilustración 12: Acuíferos libre, semiconfinado y confinado (Fetter, 1988).

### 4. Acuíferos Semilibres

Los acuíferos semilibres representa una situación intermedia entre un acuífero libre y uno semiconfinado. En este caso, la capa confinante superior es un estrato semipermeable o acuitardo, de características tales que su componente horizontal de flujo no puede ignorarse.

**MÓDULO 2.** Planificación Hidrológica. Planificación del Agua en regiones áridas y semiáridas. Caracterización hidrológica de las regiones áridas y semiáridas. Caracterización social de la gestión de recursos hídricos en las zonas áridas y semiáridas. Evaluación de la demanda. Demanda para usos urbanos. Estructura y dinámica de la población. Evolución de la población. Dotaciones. Demanda para uso rural. Demanda agrícola. Demanda Ganadera. Dotaciones para uso ganadero.

---

## 2. PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El objetivo de la planificación es la adopción de un conjunto de estrategias, actividades y sistemas organizativos, referidas a un período futuro, dirigidas a alcanzar unos fines prefijados. Es una de las cuatro grandes responsabilidades de la dirección de cualquier empresa o institución. Corresponde al órgano rector superior de la entidad la fijación de los fines u objetivos que determinan el plan, así como la aprobación del mismo para que adquiera eficacia real.

El agua es recurso natural cuyo disfrute y protección compete ordenar a los poderes públicos encargados de su tutela. La Constitución española adjudica esta responsabilidad en exclusiva al Estado, excepto en las cuencas que discurren por el territorio de una sola Comunidad Autónoma. Por consiguiente, es al Estado o excepcionalmente a la Comunidad Autónoma, a quien compete la fijación de los objetivos de la planificación hidrológica y la aprobación del Plan por los procedimientos contemplados en la legislación específica.

Puede señalarse para cualquier Plan Hidrológico un conjunto de objetivos genéricos, calificables como de orden superior, que en última instancia justifican la conveniencia social de su realización. Son los relacionados con el bienestar general de los ciudadanos en todos los aspectos en que interviene el recurso agua.

Entre otros pueden citarse:

- Asegurar la satisfacción de las necesidades básicas para la vida.
- Garantizar la seguridad de las personas y de las propiedades.
- Proteger y mejorar la salud pública.
- Desarrollar el bienestar o nivel de vida de los ciudadanos.
- Conseguir y mantener la armonía y la paz sociales.
- Facilitar la adecuada utilización del ocio y el disfrute de los valores estéticos.
- Mejorar el medio ambiente y preservarlo para la posteridad.

En nuestro país los Principios Rectores de Política Hídrica lo contemplan es los capítulos de EL AGUA Y LA GESTION, EL AGUA Y LAS INSTITUCIONES, EL AGUA Y LA LEY y LA GESTION Y SUS HERRAMIENTAS.

### 2.1. Objetivos de la Planificación Hidrológica

A tenor de lo expuesto, carece de sentido señalar como objetivo de la planificación conseguir el máximo aprovechamiento posible de los recursos hídricos, ni enunciar ambiguamente que se pretende la satisfacción de las demandas futuras, a menos que se concrete el concepto de demanda.

Cualquier plan de ordenación general de recursos hidráulicos debe proponerse contribuir, desde su parcela sectorial, al logro de los fines generales antes enumerados.

Como fines u objetivos específicos de la planificación hidrológica suelen contemplarse los siguientes:

1. Consecución de disponibilidades mínimas para el colectivo social en materia de agua potable, de alimentos y fibras básicas y de energía.
2. Incremento del nivel de renta a través de una mayor producción agrícola, energética, o de servicios de transporte.
3. Desarrollo de regiones o zonas deprimidas cuando la construcción de grandes proyectos de regadío pueda sentar las bases de un despegue económico, o al menos, estabilizar la población. Debe tenerse presente que este objetivo es de distinta naturaleza que el anterior, por cuanto puede suceder que el apoyo a una zona subdesarrollada exija para el conjunto del país un sacrificio de renta superior al beneficio recibido por aquella. El incremento del empleo es también un objetivo diferente, aunque normalmente muy ligado al del desarrollo regional.
4. Alcanzar un grado de protección adecuado de las personas y de los bienes frente a las avenidas y las sequías prolongadas.
5. Procurar oportunidades de recreo, práctica de deportes, entretenimiento del ocio en general, o el mero disfrute estético.
6. Preservación y mejora del medio ambiente acuático, de modo que se conserven la flora y fauna naturales de lagos, zonas húmedas, y riberas fluviales.
7. Mejora de la calidad de las aguas continentales, como objetivo diferenciado del anterior en tanto que suponga eliminar riesgos para la salud derivados del uso del agua para abastecimientos, regadío, refrigeración de centrales térmicas, etc.

El análisis de la evolución histórica de las políticas hidráulicas aplicadas en diversos países indica que los objetivos expuestos no suelen concurrir simultáneamente, o que lo hacen con marcadas diferencias de prioridad. Los dos primeros objetivos son típicos de países poco desarrollados, con un porcentaje alto de población agrícola, y en los que, junto a otros factores, la escasez de energía limita el crecimiento industrial.

Los citados en tercero y cuarto lugar reciben prioridad cuando la sociedad ha alcanzado un cierto nivel económico, y empieza a preocuparse por el equilibrio regional. Los tres últimos han surgido con fuerza en la planificación de los años setenta de los países más avanzados.

Tales son los objetivos que presiden la planificación hidrológica, entendidos como los diferentes caminos o direcciones a través de los cuales se pretende avanzar en el futuro desde el presente. Definir los objetivos equivale a identificar las dimensiones relevantes a los efectos de calificar la aceptabilidad de la situación presente y de las futuras.

La dirección de la empresa -Administración hidráulica en este caso- es responsable de la ejecución del Plan y de los avances o retrocesos registrados en su marcha. Pero aunque no exista Plan es también en gran medida

responsable del calificativo que a la sociedad merece la situación hidrológica en general. Por ello la planificación surge como una necesidad de la propia Administración donde los problemas del agua adquieren cierta complejidad, cuando se interrelacionan con muchos otros aspectos de la vida económica y social. Entonces la planificación per se, es decir, disponer de un marco consensuado de ordenación -cualquiera que sea- que permita adoptar decisiones en la gestión corriente, se convierte en objetivo imprescindible para la Administración. Esta necesidad se percibe con claridad en muchos pasajes de nuestra Ley de Aguas, y especialmente en su art. 40, donde se establece el contenido mínimo del Plan Hidrológico.

## 2.2. Concreción de los objetivos

Una característica destacable de los objetivos señalados es que a menudo son contrapuestos entre sí. Los que se proponen incrementar la eficiencia económica del agua suelen tener efectos negativos sobre la calidad o el medio ambiente acuático y viceversa: los embalses distorsionan el régimen natural de aguas abajo, la explotación de aguas subterráneas merma la extensión de las zonas húmedas y puede inducir un empeoramiento de la calidad por intrusión de aguas marinas o continentales.

Entre los objetivos de eficiencia económica algunos son complementarios entre sí -el incremento de cualquier producción normalmente induce un incremento del empleo-, y otros entran en conflicto, como por ejemplo: hidroelectricidad versus regadíos, o proyectos hidráulicos justificables por razones sociopolíticas, pero no económicas.

Otra característica esencial es que la medida de los objetivos no es expresable en el mismo tipo de unidades. En el supuesto de que el análisis haya sido sistematizado, se contará con diferentes patrones de medida (Tm. de diversas producciones, Kwh, estándares de calidad o servicio, etc.), e incluso algunos pueden homogeneizarse en valores monetarios, pero es imposible expresar en términos económicos el valor de la salud, y de los activos ecológicos o paisajísticos.

De ambas características surge el problema de la elección entre posibles planes alternativos. Existen métodos matemáticos que ayudan a tomar decisiones a comités o grupos responsables, basados en el establecimiento de una gradación por niveles dentro de cada objetivo, y en la adopción subjetiva por parte de cada miembro decisorio de los coeficientes de ponderación aplicables a cada objetivo en la función global. No procede entrar aquí en las dificultades prácticas de aplicación de estas metodologías incluso para grupos reducidos de personas, porque la responsabilidad de la adopción del Plan Hidrológico compete a la sociedad en general, no al grupo de burócratas y técnicos que los elaboran. "Los ingenieros tienen la obligación de proyectar y construir, pero no les corresponde decidir qué debe construirse; los economistas deben garantizar que los procesos de fabricación y distribución de los bienes son eficientes, pero no están acreditados para decidir qué bienes han de producirse" (Kuiper, 1971).

En las sociedades democráticas son los votos de los representantes legislativos los que adoptan las decisiones que corresponde tomar al Estado. La preparación del Plan Hidrológico, su elaboración, y la presentación de alternativas son responsabilidades de la Administración, que las distribuye entre los equipos técnicos que coordina al efecto. Para poder desarrollar su labor, cada equipo debe recibir inicialmente las directrices, instrucciones y criterios que no corresponden a su nivel de responsabilidad o ámbito sectorial; ésta es una exigencia elemental que trasladada hasta rebasar la esfera administrativa, obliga a un pronunciamiento legislativo sobre el marco político en que debe plantearse la planificación hidrológica, y sobre las reglas básicas que hayan de presidir su elaboración.

En consecuencia, la racionalidad del procedimiento en la elaboración del Plan implica que en el nivel decisorio se centren las bases de partida del nivel ejecutivo inferior. En el caso español, los rasgos básicos de esta cadena decisoria podrían ser teóricamente los siguientes:

**a. Plano legislativo nacional**

- ✓ Enumeración y definición de los objetivos específicos que hayan de tenerse en cuenta, y clasificación en rangos, si procediere.
- ✓ Criterios o normas para la medición de cada uno de los objetivos.
- ✓ Condicionantes de obligado cumplimiento en los que se considerase pertinente, tales como estándares de cantidad y calidad, sobre planes de riego iniciados, ubicación de centrales termoeléctricas, enumeración de zonas concretas a preservar (parques y reservas, tramos especiales de ríos, zonas húmedas,).
- ✓ Establecimiento de las condiciones objetivas que permitan aplicar conceptos como "zona deprimida susceptible de desarrollo mediante riegos", planes y obras de interés general", e implicaciones de estos conceptos para la planificación hidrológica.
- ✓ Establecimiento de las situaciones y requisitos necesarios para que el Plan Nacional tome en consideración propuestas de trasvase entre cuencas hidrográficas.
- ✓ Normas que determinen las participaciones estatal, autonómica y local en la financiación o subvención de proyectos de interés general, como riegos para promoción de zonas subdesarrolladas, trasvases, lucha contra las avenidas, protección de zonas especiales, disposición de espacios recreativos asociados al agua....

**b. Plano administrativo nacional**

- ✓ Directrices de coordinación de los objetivos que se consiguen conjuntamente en los distintos ámbitos territoriales de la planificación hidrológica, p.ej. producción energética.
- ✓ Desarrollo de criterios y procedimientos en relación con la medición de los objetivos, y en especial para la realización de estudios de viabilidad económica.
- ✓ Homogeneización de parámetros relevantes para los trabajos de planificación, como años horizonte, requisitos básicos de calidad no contemplados en normas vigentes, tipo de interés, unidad-patrón de contaminación,...
- ✓ Forma de presentación de los resultados y propuestas del Plan y de los diferentes Planes de cuenca.

**c. Plano administrativo regional (Comité de usuarios)**

- ✓ Determinación de los diversos tipos de usos del agua que las masas y corrientes de agua de la cuenca (ríos, lagos, embalses y acuíferos) deben ser capaces de satisfacer simultáneamente.
- ✓ Fijación de las características básicas de calidad para los usos definidos.
- ✓ Indicación de los objetivos deseables en materia de regadíos para la cuenca, y líneas fundamentales de estudio a considerar en el Plan (zonas regables, conversión de sistemas de riego, etc.).
- ✓ Determinación de las zonas de protección especial y clasificación de las mismas.

Un esfuerzo sistemático en la línea de lo antes indicado constituye, en el plano legislativo, el Documento 97 aprobado por el Senado USA en 1962, previamente elaborado por el President's Water Resources Council (Kuiper, 1971), y que dio origen al Water Resources Planning Act de 1965.

Una vez establecidos los objetivos y los procedimientos de formulación y evaluación del Plan, la Administración lo elabora, y posteriormente lo presenta al poder legislativo para su aprobación. Es entonces cuando este último conoce las consecuencias de sus decisiones iniciales, que pueden inducirle a su revisión por razones políticas o económicas. Los procesos de retroalimentación e interacción son inevitables en planificación, y pueden ser resueltos por dos procedimientos en este caso:

- a) reelaboración del Plan según las modificaciones introducidas por el legislativo. Esta es la solución cuando los Planes deban ser aprobados con gran detalle de medidas legales, obras a realizar, formas de financiación y plazos.
- b) aprobación legislativa inicial de un marco nacional y de los regionales de planificación, y elaboración posterior detallada por parte de la Administración, que recibiría poderes delegados para su puesta en práctica ulterior, sometida a los condicionantes oportunos.

### 2.3. Beneficio y costes de los proyectos hidráulicos

Se entiende por beneficio de un proyecto su contribución cuantitativa a la consecución de un determinado objetivo (Hufschmidt, 1965). La idea de beneficio está pues ligada a la del objetivo considerado, y mide la eficacia de la acción propuesta en relación con el mismo.

Por otra parte, la realización del proyecto implica el sacrificio de unos recursos naturales y económicos que podrían haber sido empleados de otra forma y proporcionado utilidades diferentes. La eficacia de las acciones o proyectos sacrificados, referida a cada tipo de objetivo, constituye el correspondiente coste del proyecto (coste de oportunidad).

Desde el punto de vista del interés público, que es el relevante en la planificación hidrológica, el análisis coste-beneficio de los proyectos debe considerar las distintas clases de objetivos significados. Como consecuencia de esta necesidad, de la existencia de interrelaciones entre las distintas fases del ciclo hidrológico, así como las interrelaciones de producción en el ciclo económico, se hace preciso establecer una convención terminológica que precise el significado de determinados conceptos básicos.

No existe una terminología adoptada formalmente en los planos legal o técnico, pero determinadas expresiones han alcanzado una cierta difusión que es conveniente conocer. En lo que sigue se reproducen las ofrecidas por James y Lee (1971), en relación con los objetivos de naturaleza económica.

#### a. Categorías de beneficios

Los autores referidos proponen la siguiente clasificación: Tangibles e Intangibles.

- **Beneficios tangibles:** Son aquellos que resultan a favor de intereses privados o públicos, y a los que puede asignarse un valor monetario. Se los puede dividir en:

a) **Primarios:** Son los obtenidos del proyecto mediante la producción de bienes y servicios. En esta subcategoría se distinguen:

a.1. Directos: Son los que se derivan directamente de la finalidad o finalidades específicas del proyecto, como valor de las cosechas de las zonas regadas, el de la energía eléctrica producida, etc.

a.2. Indirectos: Son los generados en favor de personas o partes no directamente involucradas en el proyecto, como consecuencia de efectos tecnológicos externos. Por ejemplo, la explotación intensiva de aguas subterráneas puede reducir o anular problemas de drenaje en zonas adyacentes regadas con aguas superficiales, el mantenimiento de caudales mínimos en un tramo por motivos ecológicos puede ahorrar costes de depuración de vertidos en otro tramo situado aguas abajo del primero, etc.

a.3. Revalorización de la tierra: Se relacionan con la protección frente a avenidas, que permite cultivos de mayor valor en la zona inundable, o su reclasificación como urbana.

b) **Secundarios o Inducidos:** Son los que se generan en actividades influenciadas por el proyecto a través de mecanismos económicos, no tecnológicos.

Si se incrementa el nivel de producción de un determinado bien -el que aporta el proyecto- es necesario que también se incremente el de aquellos otros bienes que son factores o inputs del primero. Así ocurre en los proyectos de regadío con los fertilizantes, la maquinaria, insecticidas, etc., cuya producción recibe un tirón a través de la cadena económica. Los efectos inducidos se ejercen igualmente hacia adelante en forma de impulso. Gran número de productos agrícolas son sometidos a procesos industriales y comerciales después de ser cosechados, y en las sucesivas fases se producen incrementos de renta motivados por la elevación del volumen de negocio. En ambos casos, la cuantificación de estos beneficios resulta de la diferencia entre los incrementos de renta percibidos por los que resultan favorecidos, y los dejados de percibir por quienes resultan desplazados como consecuencia del proyecto, así como por aquellos otros que se hubieran aprovechado si la inversión hubiera sido otra (beneficios secundarios alternativos o de oportunidad).

La medición de los beneficios secundarios es más difícil que la de los indirectos y solamente pueden estimarse a través de relaciones macroeconómicas globales, como tablas input-output o modelos econométricos.

c) **Beneficios sobre el empleo:** Se refieren a la renta aneja a los nuevos empleos creados para construir, mantener y explotar el proyecto, incluyendo en esta última clase los correspondientes a la producción.

d) **Sobre otros intereses posibles:** Se consideran los conseguidos en relación con objetivos distintos del de eficiencia económica, susceptibles de cuantificación monetaria solamente a través de juicios de valor sobre la deseabilidad relativa del segundo objetivo.

Así ocurre con los de estabilización económica, distribución equitativa de la renta y desarrollo regional.

- **Beneficios intangibles:** Describen los efectos positivos a los que no puede asignarse un valor monetario, como el ahorro de vidas, la estética, o la calidad del medio ambiente.

## b. Categorías de los costes

Los costes son beneficios negativos a detracer de los anteriores para obtener valores netos. Pueden ser:

---

**Costes asociados:** Se refieren a las inversiones privadas necesarias para producir o utilizar los bienes que genera el proyecto. Ejemplos son la nivelación de los terrenos que han de regarse, caminos de servicio, la maquinaria agrícola precisa, naves de almacenamiento, etc. Siempre que se contabilicen beneficios secundarios para la justificación del proyecto hay que tener en cuenta los costes asociados.

**Costes externos o inducidos:** Valoran los efectos adversos del proyecto sobre personas o entidades ajenas al mismo. Ejemplos son los costes adicionales de transporte en tomo a un gran embalse, en los que han de incurrir los vecinos de localidades próximas que separa el embalse, o la detracción de agua de los ríos inducida por los pozos. Estos costes deben considerarse siempre, independientemente de que el organismo ejecutor tenga obligación legal de satisfacer los perjuicios económicos ocasionados.

## 2.4. Planificación del agua en regiones áridas y semiáridas

Cuando se hace referencia a las zonas áridas y semiáridas del planeta, se está denominando, indudablemente, unas áreas que carecen del agua en cantidades suficientes como para satisfacer sus variadas necesidades. Sin embargo, estas áreas poseen características ecosistémicas que las diferencian nítidamente de otras. Así, por ejemplo, es posible destacar en ellas el tipo de vegetación que sustentan, la fragilidad manifiesta de los ecosistemas, la presencia de poblaciones humanas que viven al límite de sus posibilidades y la escasa importancia económica que se les asigna, salvo que dichas áreas contengan recursos naturales valiosos no renovables (oro, cobre, plata, petróleo, etc.), o sean zonas destinadas al turismo o a actividades de otra índole, como las militares o la experimentación científica. De igual forma, estas áreas se caracterizan por la presencia importante de procesos de desertización, todo lo cual hace más drásticas las condiciones de vida de las poblaciones que las habitan. En el marco descrito, el elemento diferenciador de estas zonas, lo constituye la carencia de recursos hídricos, los cuales son aportados de forma irregular, en cantidades bajas o muy bajas, y con importantes grados de torrencialidad, con lo que se configura un cuadro difícil de predecir. Asimismo, las poblaciones ligadas a estos territorios y los consiguientes usos que hacen del agua, provocan una demanda social de regulación de este recurso, lo que hace que en innumerables ocasiones se presenten fuertes conflictos entre personas, comunidades y países, dada la importancia estratégica del agua para el crecimiento económico de estas regiones.

Lo anterior configura un contexto en donde se aprecia, por una parte, una alta demanda de recursos hídricos, y por la otra, una escasa oferta natural. Las situaciones descritas generan irremediablemente, más temprano o más tarde, conflictos de todo tipo, a los que se debe responder con esquemas de solución. Para ello, se requiere una cultura que supere tales enfrentamientos, definida por la reflexión y la acción, generadoras ambas de una adecuada tecnología social.

En este marco, el presente documento pretende realizar un análisis de la situación de las zonas áridas (ZA) y semiáridas (SA) que las caracterice someramente desde una perspectiva hidrológica y social. Posteriormente, se propondrá un marco estratégico de actuación, que tienda secuencialmente a una adecuada gestión del agua, con el fin de superar la situación de conflicto que pudiera surgir.

## 2.5. Caracterización hidrológica de las regiones áridas y semiáridas

Las zonas áridas y semiáridas se definen, técnicamente, desde la perspectiva de varios indicadores. Uno de ellos es el establecido por la UNESCO (1993), que parte de la relación P/ETP, donde P es la precipitación media anual, y ETP la evapotranspiración potencial. Con tales parámetros, se pueden diferenciar los siguientes:

0,00 < P/ETP < 0,03	Zona hiperárida
0,03 < P/ETP < 0,20	Zona árida
0,20 < P/ETP < 0,50	Zona semiárida
0,50 < P/ETP < 0,75	Zona subhúmeda
0,75 < P/ETP	Zona húmeda

Además de este indicador, existe una innumerable cantidad de índices, utilizados de varias formas y en diversas áreas por los distintos autores e investigadores. Sin embargo, hay indicadores que permiten identificar las zonas áridas y semiáridas desde una perspectiva climática, pero éstas se enfrentan a problemas que las hacen muy singulares, desde un punto de vista hidrológico, con respecto a otras áreas en el mundo. De este modo, por ejemplo, mientras a nivel mundial la hidrología de las zonas húmedas templadas es más prolífica en investigaciones y experiencias, la hidrología de las zonas áridas y semiáridas presenta un menor número de estudios, alta variabilidad de los datos, y carencia de relaciones lineales en el proceso precipitación-escorrentía. La carencia de investigaciones se demuestra a partir de un estudio de Bosch y Hewlett (1982), quienes revisaron de forma exhaustiva la bibliografía mundial referida a datos de balances hídricos en las cuencas, y al efecto de la cobertura vegetal sobre la concentración de las aguas. A partir de este análisis se determinó que sólo un 10% de los estudios correspondían a áreas de precipitación media anual inferior a 600 l/m<sup>2</sup>.

Lo expuesto adquiere una importancia vital, si se considera que los sistemas precipitación-escorrentía son no lineales, y que su representación lineal es sólo un supuesto, debido principalmente a factores estacionales. Así, se plantea que para establecer la relación precipitación - escorrentía, es preciso conocer: la distribución en el tiempo y en el espacio de la precipitación; las características fisiográficas de las cuencas; algunas leyes físicas; y los antecedentes sobre la humedad en el suelo y las condiciones iniciales del sistema (Singh, 1988). Por consiguiente, si existe un menor número de datos e investigaciones en las zonas áridas y semiáridas, será más difícil establecer relaciones físicas o matemáticas que expliquen los fenómenos hidrológicos, y que posibiliten una mejor gestión de los recursos hídricos.

Por otra parte, si la fijación de las relaciones precipitación-escorrentía se hace difícil en zonas templado – húmedas (zonas geográficas con mayor precipitación y distribuidas en forma homogénea en el tiempo), ello se hace aún más complicado en ZA y SA. Asociado a esto, Rodier (1985) señala que el estudio de la escorrentía en estas zonas, necesita usar una red de naturaleza distinta a la de áreas húmedas, ya que es necesario tomar en cuenta las variadas características fisiográficas de la cuenca. Asimismo, un elemento esencial en estas áreas es que no hay simplemente un único tipo de régimen, ya que se pueden distinguir más de 20 regímenes distintos.

En el mismo contexto, Pilgrim (et al., 1988) plantea que las zonas áridas y semiáridas poseen algunas particularidades hidrológicas que dificultan el proceso de modelación precipitación-escorrentía. Entre estos factores se citan la extremada variabilidad de las precipitaciones y, por ende, la de los valores de caudal, así como la carencia de información estadística fiable, que permita realizar trabajos matemáticos que posibiliten la predicción del comportamiento natural de los ríos y de las cuencas hidrográficas que los sustentan.

Los mismos autores (1988), en un trabajo llevado a cabo en Australia, determinaron que la amplia diversidad de características que presentan las zonas áridas y semiáridas hace que los requerimientos de información para el cálculo de variables matemáticas que expliquen el fenómeno sean muy distintos a los de otras regiones y, por otra, que lo más probable es que existan situaciones diferenciales particulares para cada región en particular. De igual forma, Bullock y Gustard (1990) plantean que el desarrollo de técnicas para una regionalización del proceso precipitación-escorrentía ha sido muy pobre en zonas áridas y semiáridas, y que no ha sido así en las zonas húmedas. Esto lo justifica por la dispersión de datos, la dificultad para la generación de estadísticas apropiadas de caudal y la ausencia de procedimientos que permitan extrapolar lo establecido.

Por otra parte, y respecto a la evaporación en regiones áridas y semiáridas, Rodier (1985) hace notar que en estas zonas es posible encontrar la paradoja de que: a mayor volumen de precipitación, la evapotranspiración (entendida ésta como la transpiración de las plantas, más la evaporación del agua desde el terreno y desde el follaje de la vegetación) aumenta hasta niveles que casi igualan el total de precipitación.

Este fenómeno se puede comprobar en algunos trabajos desarrollados en Cataluña (España). De este modo, Piñol (1990) señala de manera manifiesta las diferencias que se encuentran al analizar las dependencias de la evapotranspiración y el caudal con respecto a las precipitaciones, tanto en zonas mediterráneas como en otras regiones geográficas. El autor, presenta unas gráficas en las que se demuestra a escala anual cómo en una cuenca mediterránea (en la zona del Montseny, en Cataluña), la evapotranspiración depende linealmente de la precipitación, en tanto que los caudales muestran una mínima dependencia de la precipitación. Esto significa que a mayor precipitación, mayor evapotranspiración y no siempre mayor caudal o escorrentía. En contrapartida, una cuenca de clima húmedo, ubicada en New Hampshire, Estados Unidos, tal como lo ha estudiado Likens (et al., 1977), denota una dependencia lineal de los caudales con respecto a las precipitaciones, en tanto que las evapotranspiraciones dependen muy poco de las precipitaciones, e incluso tienden a mantenerse casi constantes en el tiempo.

La UNESCO (1993) plantea la necesidad de entender las diferencias hidrológicas entre regiones. Así, Mc Mahon (1982), hidrólogo australiano, cuestiona que la hidrología mundial encaje en Australia, duda que nace de la constatación de que existe un comportamiento diferencial de las relaciones precipitación-escorrentía en Australia y África del Sur, con respecto a otras regiones del mundo, inclusive aquellas consideradas como áridas y semiáridas. Por lo mismo, y a la luz de las disparidades que se verifican, se sugiere como válido el replantearse la utilidad de la aplicación en regiones áridas y semiáridas de ciertos métodos desarrollados para zonas templado-húmedas, los cuales no encajan en las zonas áridas y semiáridas.

Singh (1988), sugiere que el considerar que la generación de escorrentía y la evaporación se incrementan linealmente con el aumento de las precipitaciones, es un supuesto que sólo es razonable asumir en zonas subhúmedas y templadas, donde la precipitación es moderada en cantidad y se presenta bien distribuida temporalmente, situación que no se da en zonas áridas y semiáridas. En este sentido, es preciso considerar con qué tipo de información estadística se va a trabajar en zonas áridas y semiáridas, para intentar establecer relaciones precipitación-escorrentía.

Asociado a ello, Rodier (1985) plantea que para esas áreas el significado de un valor medio anual de precipitación es "casi una broma". Ello, responde a que la variabilidad anual de la precipitación es tal, que la media no posee ningún significado físico o práctico. Además, se necesitan series muy largas de tiempo para aproximarse a un valor medio que posea consistencia estadística, lo cual también es válido para las escorrentías.

Por su parte, Estrella (1993) señala que no hay una relación lineal entre las precipitaciones y las escorrentías. Por ello, plantea que no es correcto trabajar con valores medios de precipitación cuando su rango de variabilidad espacial sea muy alto, situación que se da habitualmente en zonas áridas y semiáridas. Si la relación precipitación- escorrentía es de por sí difícil de determinar, este aspecto se complica si entran en juego otras variables, como la vegetación. En este contexto, se puede citar a Lavabre (et al., 1991), que estudian el ciclo hidrológico en una cuenca mediterránea del territorio francés.

Esta cuenca, en agosto de 1990, sufrió un incendio que arrasó un 85% de la cobertura vegetal. Después de un año de observación de la cuenca quemada, el estudio presenta las consecuencias sobre el comportamiento hidrológico. De ellas se desprende, entre otras conclusiones, que con la destrucción de la vegetación, la cuenca denota un incremento de producción de la escorrentía de 150 l/m<sup>2</sup>, aumento que se manifiesta, principalmente, en las crecidas.

Calder (1992), citando a diversos autores y en un análisis de 94 cuencas de todo el mundo, afirma términos generales que, un incremento de un 10% de la cobertura forestal en bosques de pinos y eucaliptos, vegetación que reemplaza a zonas cubiertas con pastos, determina una baja de 40 l/m<sup>2</sup> en el caudal anual.

Lindholm y Stenbeck (1993) llevan a cabo en África un estudio que contempla entre otros aspectos, la influencia de las forestaciones sobre la escorrentía superficial. Considerando valores diversos de cobertura del suelo, y para edades de uno, dos y tres años (de las plantaciones en cuestión), concluyen que existe una disminución estadísticamente significativa de la escorrentía en el lugar, como producto de la implantación de especies forestales.

En el marco brevemente descrito, puede concluirse que la bibliografía plantea de manera contundente lo siguiente: no es posible estructurar relaciones lineales precipitación- escorrentía en zonas áridas y semiáridas; para un proceso de este tipo es básico contar con datos de evapotranspiración en el territorio a estudiar, para conseguir una adecuada modelación; lo que se sugiere para las zonas con alta variabilidad espacial es aplicar modelos que configuren el desarrollo del ciclo hidrológico; y, por último, no existen experiencias en número importante, relativas a estudios hidrológicos en zonas áridas y semiáridas.

Asimismo, surge claramente una conclusión que plantea Rodier (1990): "es una falacia pensar que una o dos fórmulas generales y algunos modelos, resolverán los problemas que se plantean en el estudio y gestión de los recursos hídricos superficiales en zonas áridas o semiáridas. Lo central, es conseguir una adecuada red que entregue datos confiables desde un punto de vista estadístico e hidrológico y que éstos puedan ser debidamente analizados".

Finalmente, es posible concluir que los procesos de conocimiento, según Bachelard (1985), pasan por un necesario planteamiento del problema. Así, señala que "dígase lo que se quiera, en la vida científica los problemas no se plantean por sí mismos. Es precisamente este sentido del problema el que delata un verdadero espíritu científico. Para un espíritu científico, todo conocimiento es una respuesta a una pregunta. Si no hubo pregunta, no puede haber conocimiento científico. Nada es espontáneo, nada está dado, todo se construye". Luego, si la pregunta es cómo se puede llevar a cabo un proceso de gestión de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas, entonces es necesario indagar en ese desafío y de la forma más integral posible.

## 2.5. Caracterización social de la gestión de recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas

Moore (1990), establece una serie de recomendaciones para los hidrólogos, ligadas a zonas áridas y semiáridas de África. Señala que la modelación hidrológica no es un fin en sí mismo y que debería prestarse más atención a los sistemas de toma de decisiones que a los modelos que se usan.

Esta recomendación posee un amplio sentido en la actualidad, en donde parece importar más el tipo de modelo que la calidad de la información, o las apariencias que aportan los sistemas de realidad virtual, que la aplicación y practicidad de las herramientas generadas.

En este marco, y aunque parezca evidente, es necesario señalar que el agua es un recurso natural fundamental para la vida humana, por lo cual su importancia atraviesa horizontalmente todos los sectores de la vida económica y social. En este contexto, debería entenderse que la gestión de un recurso de este tipo, tendría que hacerse desde una perspectiva que integre todos los factores en el análisis. El agua demanda una integralidad en su gestión, integralidad que posee una urgencia mucho mayor en zonas áridas y semiáridas por la escasez y fragilidad ambiental de este recurso, y por la urgencia que demandan las poblaciones humanas involucradas. Por consiguiente, sería interesante evaluar si esta premisa se cumple o si sólo es un ideal de actuación.

Para determinar si es posible aplicar planes de gestión de recursos hídricos, en estas zonas, es necesario establecer previamente un diagnóstico sobre la situación a la que actualmente se enfrentan estos planes. De este modo, se considerarán las siguientes definiciones. En primer lugar, se entiende por "evaluación" la comparación que se realiza entre una situación real y una situación hipotética o teórica, que puede mostrar las diferencias entre las dos situaciones analizadas. Por lo tanto, el "diagnóstico" se define como la o las causas de las disparidades que identifican ambas situaciones.

En este marco, lo primero que ha de hacerse para realizar el diagnóstico, será plantear algunas situaciones que debiesen existir en un marco ideal, para llevar a cabo planes de gestión de recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas.

### SITUACIÓN HIPOTÉTICA O IDEAL

- a) Existencia de marcos interdisciplinarios de trabajo. En la medida en que ésta situación se verifica, es más probable la incorporación de diversos acervos culturales y de trabajo, lo cual potencia la posibilidad de obtener resultados que van más allá de la simple suma de esfuerzos parciales.
- b) Presencia de una política de gestión de recursos hídricos. Dicha política deberá estar enmarcada dentro de un contexto ambiental y productivo, que oriente planes institucionales, de investigación, técnicos, de educación y capacitación. Al existir una política definida de gestión del agua, se pueden obtener resultados que potencien la actuación de las instituciones de ejecución física y social, así como la acción de las instituciones de investigación. Ello es así porque sus objetivos y planes de acción específicos son parte de una planificación que optimiza los escasos recursos disponibles.
- c) Cooperación interinstitucional para la solución de problemas técnicos y sociales. El que las instituciones cooperen entre ellas permite la sinergia organizacional, tan necesaria como deseada para una actuación eficiente. Si eso no se consigue, no sólo se reducen las posibilidades de éxito a causa de la pobreza que presenta una sola actuación institucional, sino que es muy difícil que se alcancen marcos interdisciplinarios de trabajo.

d) Incorporación de esquemas educativos, de investigación y de capacitación continua en los profesionales y usuarios. El fin de esta incorporación sería instaurar una cultura del agua. Si se incluyen marcos educativos de trabajo, se estará en la línea de conseguir propuestas de mayor duración estructural en el tiempo y en el espacio. Esto responde a que la actuación que se cobija en esquemas educativos, de investigación y de capacitación, tiende a hacer más independientes a las personas que se benefician de estas acciones, y a quienes las proponen desde una perspectiva técnica. De esta forma, ambos se potencian en un plano de mayor equidad y, por ende, de mayor sostenibilidad ambiental.

e) Adopción de esquemas de gestión estratégica. En la actualidad, y en función del cambio de valores de este final de siglo, de los elementos conceptuales que se manejan y del objetivo del desarrollo sostenible, resulta vital trabajar con modelos de gestión estratégica, ya que permiten, desde una visión sistémica, ofrecer respuestas a una problemática compleja y variable. De esta forma, el concepto de estrategia que incorporan estos modelos, no sólo está referido a la solución de problemas técnicos, sino también a solventar dificultades del más amplio espectro, al incorporar a los actores sociales y a su correspondiente dimensión polifacética. Por ello, la estrategia es una herramienta que sirve a objetivos generales y específicos, y precisa por lo tanto de un diseño participativo y consensuado. Sin embargo, la incorporación del espectro social y sus variables aumenta la entropía del sistema, es decir, el desorden en el interior del sistema físico y social, hecho que debe ser considerado en el momento de evaluar las posibilidades reales de estos métodos.

f) Toma de decisiones consensuada entre los diversos actores que representan el cuerpo social, técnico y político. Para la sostenibilidad de las actuaciones técnicas, se plantea un aspecto de alta importancia, como es que el resultado del proceso de participación de los actores involucrados debe generar decisiones mayoritariamente consensuadas, con el fin de conseguir su adhesión continuada y efectiva al proceso.

g) Existencia de una descentralización administrativa regional. Para que las instituciones puedan actuar eficazmente y conforme a directrices regionales o locales, resulta fundamental permitir la capacidad de respuesta de cada una de ellas. Si sus acciones dependen de estructuras centralizadas en el poder político nacional, su poder de actuación se ve notablemente disminuido por el hecho de tener que acatar directrices que les son ajenas y que, en algunos casos, no se condicen con lo que se ha planteado regionalmente como válido, o con lo que el ecosistema físico demanda.

h) Verificación de una alta motivación institucional para la obtención de recursos financieros. Este aspecto cobra una elevada relevancia, en virtud de que los recursos de los que dispone normalmente una institución están muy limitados y previamente definidos. Por ello, una estrategia recomendable es la obtención de recursos adicionales para implementar y complementar programas con un marcado acento regional. Sin embargo, ello sólo es posible si los integrantes de las diversas instituciones están motivados en ese objetivo, motivación que puede tener distintas vertientes.

## SITUACIÓN REAL

Prácticamente todas las situaciones señaladas como esquema ideal, para la elaboración y ejecución de actuaciones en el marco de la gestión de recursos hídricos en ZA y SA, no se cumplen totalmente. Existen y han existido iniciativas de importancia, pero éstas son de tipo personal o institucional. Así, por ejemplo, la investigación raras veces es un apoyo a la actuación de las instituciones y, además, en la mayoría de los casos, es una investigación muy específica, sin una perspectiva de aplicación concreta. Esto es mucho más visible en lo que respecta a la investigación básica, en donde no existen líneas claras de acción y las metas a conseguir se fijan más en función de lo que piensa particularmente cada investigador, que a partir del resultado de

orientaciones maestras para el desarrollo hídrico. Asimismo, se observa una escasa investigación en el ámbito de la gestión de recursos hídricos, en donde se confunde este tipo de estudio con el que se requiere en ingeniería hidrológica, con todas las carencias que ésta posee actualmente.

Otro aspecto importante a destacar es que, si bien en algunos planes de gestión del agua en ZA y SA se ha intentado incorporar a los diversos actores de una región determinada, ello no se ha traducido en una expresión democrática, equitativa y consensuada. En algunos casos se ha verificado que el peso relativo de los actores en el interior del proceso es distinto, debido a factores económicos, sociales, políticos, de expresión, etc., lo cual ha facilitado la discontinuidad de las acciones y el abandono de las propuestas aceptadas.

En síntesis, la situación hipotética o ideal, para llevar a cabo un plan de acción eficiente y efectivo en cualquier ámbito de la gestión de recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas, dista de la situación real.

## DIAGNÓSTICO

Entendiendo por diagnóstico a las causas de las diferencias entre la situación ideal definida y la situación real, un diagnóstico preliminar factible, en el marco de la gestión de recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas, es el siguiente:

a) Inexistencia de una política integradora de actuación en función de los recursos hídricos. Las actuaciones ligadas al agua, en zonas áridas y semiáridas, se estructuran generalmente de modo discreto y específico, según sea el sector productivo de que se trate. Por ejemplo, la agricultura requiere del agua para satisfacer sus necesidades de riego, y esa necesidad, mirada desde ese sector, surge casi de manera independiente a la que pueda requerir la industria, el consumo humano, la hidroenergía, etc.

b) Las instituciones gubernamentales no asumen la descentralización. Este aspecto es medular cuando se intenta incorporar diversas instituciones regionales o locales en el proceso de gestión. Sin embargo, el funcionamiento normal de las diversas organizaciones consiste en definir sus planes de actuación bajo un marco altamente centralista, en el cual los grados de libertad que poseen las entidades regionales son muy bajos, o no les permiten establecer políticas efectivas en un marco integrador regional, salvo contadas excepciones.

c) Existen instituciones sectoriales que pertenecen a distintos Ministerios con diversas orientaciones. En un esquema sistémico como es la actuación en la gestión del agua, la mancomunidad de esfuerzos no sólo es deseable, sino que es imprescindible. Esto es así porque ninguna institución puede, por razones técnicas más que financieras, extender su campo de acción de modo ilimitado. Sin embargo, y entendiendo este aspecto como algo de vital importancia, se da la paradoja de que instituciones que trabajan en ámbitos económicos similares, pertenecen a distintos Ministerios; los cuales enfrentan el problema de las cuencas y de los recursos hídricos con diversos énfasis, lo cual es evidente, por ejemplo, en países de América Latina y también en países europeos. Es por esto que, una causa de la poca eficiencia interinstitucional que se aprecia es la pertenencia a estructuras que obedecen a políticas distintas.

d) No se verifica la existencia de una definición de líneas de actuación consensuadas con todos los actores. Bajo el esquema que se trate, se verifica que las acciones técnicas no se consensuan con todos los actores que desean involucrarse en procesos de desarrollo. Y eso es tan cierto que, aunque exista la intención de generar esquemas de coactuación, eso será muy difícil de establecer, dado que no se ha incorporado como un paso previo la capacitación en gestión estratégica. Por ende, no existe una sistematización del trabajo desarrollado, ni mucho menos una retroalimentación constante.

e) No existe una instancia que ejerza un liderazgo técnico en la gestión de las cuencas y de los recursos hídricos. Otro factor que forma parte del diagnóstico, es la inexistencia de una instancia coordinadora relevante, que aglutine los esfuerzos de investigación y ejecución de programas en el ámbito del agua. Generalmente, no hay un actor que lidere la coordinación, planificación, ejecución, seguimiento, evaluación y reformulación de las acciones desarrolladas y que se han de aplicar en un futuro.

f) Carencia de una cultura de cuencas por parte de los actores políticos y técnicos externos. Si los aspectos mencionados anteriormente constituyen un factor determinante para la ejecución de un adecuado Plan de Gestión de Recursos Hídricos, la carencia de una cultura de este tipo en los actores técnicos y políticos externos al sector constituye también un problema relevante. Así, si se considera a la cultura desde la perspectiva de Ortega y Gasset (Madrid 1883-1955) -es decir, como un conjunto de factores que permiten encarar un problema y darle solución- entonces, como no se advierte una cultura de gestión de los recursos hídricos, la posibilidad de incorporar una dimensión de desarrollo a planes de este ámbito se reduce considerablemente.

g) Existe una carencia evidente de esquemas de actuación estratégica en las instancias de ejecución de programas. Si se pretende llevar a cabo un Plan de Gestión de Recursos Hídricos en zonas áridas y semiáridas, éste debe contar con técnicos preparados para retroalimentar el sistema, formular nuevos esquemas, evaluarlos y seguirlos. Sin embargo, por distintos factores, ello no es posible. Uno de estos condicionantes es la carencia de métodos de actuación estratégica. Es decir, no sólo se necesita contar con un adecuado nivel de conocimiento técnico, sino que hay que definir previamente qué marco técnico es el adecuado y qué estrategia debe seguirse para su implementación con posibilidades de logro técnico y social. Esto sólo es posible lograrlo con la incorporación de esquemas de gestión estratégica (factor con el que usualmente no se cuenta) que posibiliten esta situación.

h) Degradación constante de las cuencas hidrográficas. Expuesto todo lo anterior, surge como elemento relevante en el diagnóstico que una consecuencia de la no planificación y el consiguiente mal uso de los recursos es la degradación constante y creciente de los ecosistemas. Esta situación está provocada por los aspectos ya señalados en este diagnóstico, pero a ello se añade la condición de marginalidad socioeconómica de la población y la fragilidad ecosistémica de muchas áreas en las que se pretende actuar. De ahí surge la necesidad de contar con planes de ordenación territorial, que permitan priorizar esfuerzos en función de esquemas de actuación que contemplen todos los criterios.

Finalmente, es posible señalar que el diagnóstico aquí enunciado posee muchas otras causas que son muy difíciles de escrutar, porque son parte del comportamiento humano y se enmarcan en aspectos de tipo personal. Sin embargo, si los factores someramente enunciados en el diagnóstico pueden abordarse con un mínimo de efectividad, entonces sí será posible pensar en un Plan efectivo de Gestión de Cuencas Hidrográficas y de los Recursos Hídricos, que vaya más allá de la sola idea de listar ciertas actividades técnicas. Este Plan debe proponerse pautas de actuación que superen la situación actual y propendan a facilitar el trabajo técnico y social y, asimismo, que tiendan a alcanzar el éxito de las actividades específicas, previa definición del marco en que éstas deben desenvolverse.

### **PROPUESTA DE GESTIÓN EN REGIONES ARIDAS Y SEMIARIDAS**

Una propuesta genérica de gestión de los recursos hídricos para las zonas áridas y semiáridas se enfrenta a las características singulares de los ecosistemas en que se esté actuando. Un elemento fundamental a tener en cuenta es la importancia del agua en estas zonas:

- ✓ como recurso vital para el mantenimiento de la vida.
- ✓ como recurso económico.
- ✓ como recurso social con implicaciones culturales, recreativas, educativas.
- ✓ como recurso polifuncional.
- ✓ por las prestaciones que ofrece a los más diversos sectores productivos.

Todo ello verifica la trascendencia de la existencia de un recurso con importantes limitaciones en cantidad y calidad.

Así, parece evidente que debiese existir un objetivo global que tienda, por medio de estrategias adecuadas, a la preservación de los recursos hídricos en cantidad y calidad, en términos temporales y espaciales. Luego, ¿por qué esta situación no se tiene en cuenta?

La respuesta pasa por variadas causas, como que la población local no percibe claramente los problemas ambientales ligados a la gestión del agua y sus implicaciones. Ello es así porque los fenómenos de degradación del agua en muchas ocasiones son de lenta manifestación física. Asimismo, no existe una difusión importante y continua que se traduzca en una educación ambiental efectiva y eficiente.

Además, los recursos hídricos, a no ser que el mercado les asigne una importancia determinante por la existencia de posibilidades de negocios de alta rentabilidad, no presentan una relevancia que los haga merecedores de la atención de las autoridades.

Por último, no existen suficientes investigaciones y actuaciones técnicas para detener los procesos de degradación del recurso o incrementar su preservación, en tanto que el único aspecto que tiende a crecer exponencialmente es el de los aprovechamientos.

Por lo tanto, es casi imposible hablar de integralidad, cuando cada sector productivo o social hace con el agua lo que mejor le parece o, por lo menos, tiende manifiestamente a defender sus propios intereses. Esta estrategia, lleva implícita la degradación de los recursos hídricos, una menor eficiencia de aprovechamiento y un impacto ambiental muy importante.

Los campos en los cuales se expresa esta problemática son muchos, en términos genéricos se proponen cuatro, por ser los más importantes:

- ❖ **Ámbito Institucional:** considera las actuaciones que se deberían llevar a cabo en el contexto de la concertación interinstitucional con vistas a una mancomunidad de esfuerzos y una optimización de recursos, para una adecuada protección y aprovechamiento del agua.
- ❖ **Ámbito Técnico:** abarca la medición, análisis cuantitativo y cualitativo, generación de estadísticas y evaluación de los recursos hídricos, así como las actuaciones técnicas con vistas a la protección y el aprovechamiento del agua.
- ❖ **Ámbito Educativo y de la Capacitación:** comprende la relación con las estrategias que deben ser adoptadas para conseguir una adecuada capacidad humana de gestión regional y local de los recursos hídricos. Dicha capacidad no se circunscribe sólo a aspectos técnicos ligados a la ingeniería hidrológica, sino también a esquemas de gestión estratégica o proyectos educativos de enseñanza masiva o específica

- ❖ Investigación: está orientado a la puesta en marcha de programas operativos de investigación básica y aplicada que aporten datos acerca de la evaluación cuantitativa y cualitativa del ciclo hidrológico, las posibles modelaciones que pueden estructurarse, influencia de la vegetación, regímenes de precipitaciones y de caudales, comportamiento de los caudales subterráneos, etc.

Todo ello ha de estar definido por objetivos previamente establecidos, de los cuales la mayoría de las instituciones involucradas han de tomar nota.

A partir de los ámbitos ya descritos, de las finalidades que se determinen, de las restricciones que se detecten para el logro de tales propósitos, de las soluciones que se encuentren para superar las dificultades, y de las estrategias definidas por objetivo, será posible alcanzar lo que la jerga técnica denomina **Planes Directores de Recursos Hídricos**. Estos no son más que un conjunto estructurado de actuaciones y estrategias que persiguen el logro de objetivos globales y específicos mediante actividades claramente definidas, en las cuales ha participado el conjunto de actores que han acordado modificar los campos de trabajo ya definidos; asimismo, estos Planes Directores deben estructurarse para cada ámbito.

A partir del contexto descrito, se proponen los siguientes pasos para la creación de una estrategia de utilización efectiva y eficiente de los recursos hídricos en zonas áridas y semiáridas, que se denominará **Plan Director de los Recursos Hídricos para las Zonas Áridas y Semiáridas**.

#### ✓ **Materiales necesarios**

Una adecuada estrategia de utilización de los recursos hídricos, en zonas áridas y semiáridas, requiere de los recursos para financiar las diversas tareas necesarias para la elaboración y validación de un Plan de estas características:

- Deberán sufragarse las labores de los consultores que diseñarán la estrategia de acción en función del trabajo previo de diagnóstico de cada zona específica.
- Deberán financiarse las actividades de difusión y coordinación, necesarias para un proyecto de este tipo.
  - Deberán definirse tareas técnicas de transferencia tecnológica, en virtud de la necesidad de que la población involucrada conozca y reconozca actuaciones compatibles con una gestión racional de los escasos recursos disponibles.
- Un factor muy importante es el conocimiento de las zonas áridas y semiáridas por parte de los técnicos de las diversas instituciones ligadas a estas áreas. Por ello, un primer aspecto que debe considerarse es la asignación de recursos financieros para sistematizar las experiencias previas de ingenieros y técnicos relacionados con estas áreas de trabajo, dado que no se puede estar siempre empezando de cero. De este modo, por poco que se haya hecho, siempre existirá algo, escrito o no, que sirva a los propósitos de iniciar un Plan de Trabajo.
- Capacitación de técnicos y usuarios en tecnologías físicas y sociales, con el fin de que la gestión futura de los recursos hídricos sea auto sostenida por las instituciones participantes y los propios usuarios.

#### ✓ **Método**

El elemento fundamental que contempla un proyecto de este tipo se basa en la participación interactiva de los actores involucrados, a fin de lograr que sus acciones se complementen. Por ello, se necesita de un equipo técnico que ejerza un rol de coordinador, y que adopte una posición neutral, es decir, un papel de organizador de las actuaciones correspondientes.

Para lograr lo anterior se requiere contar con un grupo de instituciones dispuestas a trabajar conjuntamente y que aporten personal experto, además del compromiso de los usuarios para participar en la elaboración de planes y programas. De igual forma, debe considerarse que estos procesos comportan aspectos de retroalimentación constante. Metodológicamente, los pasos que han de seguirse se estructuran en función de las siguientes actividades:

### **Fases de trabajo**

**Fase 1.** Selección de las cuencas hidrográficas en las que se tiene que intervenir.

Descripción: En esta fase se seleccionan las áreas donde se va a trabajar, intentando que éstas queden determinadas a partir de las cuencas hidrográficas representativas de la zona. Esta tarea se debe llevar a cabo con la participación de expertos y con el uso de esquemas multicriterio, a través de los cuales se identifican las cuencas más relevantes para el Plan de Gestión que se pretende desarrollar. Es importante destacar que un experto puede ser un lugareño de la zona, así como un buen profesional o investigador.

Objetivo de la fase: Identificar las cuencas sobre las cuales se modelará la estrategia de gestión de los recursos hídricos.

Actividades: Entre otras, éstas pueden ser las siguientes:

<b>Actividad</b>	<b>Resultado Esperado</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Preselección de las cuencas con necesidad de Gestión.	Listado de Cuencas para su selección.	Cuencas
Recopilación de información general de las cuencas seleccionadas, estandarizadas en un trabajo.	Caracterización de cada cuenca.	Fichas de Cuencas
Selección de expertos.	Listado de expertos a consultar para la selección de Cuencas.	Expertos
Consulta a expertos mediante métodos multicriterio.	Identificación de las variables de selección de mayor peso.	Variables ponderadas
Selección definitiva de las cuencas.	Identificación de las cuencas que se trabajaran.	Cuenca

*Nota:* Las metas y duración temporal de todas estas actividades se incluirán cuando sean definidas por el equipo técnico encargado del proyecto, y necesariamente deben quedar claramente expresadas para un control eficiente de la actividad.

**Fase 2.** Recopilación de información física y socioeconómica para cada cuenca.

Descripción: En esta fase se deben identificar y describir los actores institucionales y usuarios de las cuencas seleccionadas, señalando alcances, funciones, tareas estratégicas y metas institucionales.

Objetivo de la fase: Identificar y caracterizar los actores y usuarios de las cuencas seleccionadas.

Actividades: Entre otras, éstas pueden ser las siguientes:

Actividad	Resultado Esperado	Unidad de Medida
Catastro de las instituciones y usuarios presentes en las cuencas seleccionadas.	Listado de actores relevantes.	Informe
Sistematización de la experiencia de los profesionales de las instituciones que actúan en las cuencas.	Experiencias previas sistematizadas y disponibles.	Informe
Catastro de información institucional definido.	Listado de iniciativas con perfil de los beneficiarios.	Informe
Recopilación y/o elaboración de cartografía temática existente para cada Cuenca.	Disposición de información cartográfica de uso fácil.	Mapas temáticos
Digitalización de la cartografía temática relevante.	Disponibilidad de cartografía digital.	Archivos digitales
Elaboración de Informe Diagnostico de cada cuenca.	Disposición de datos e información real por Cuenca.	Informe

*Nota: Las metas y duración temporal de todas estas actividades se incluirán cuando sean definidas por el equipo técnico encargado del proyecto, y necesariamente deben quedar claramente expresadas para un control eficiente de la actividad.*

**Fase 3.** Elaboración de la mesa de concertación y desarrollo de talleres de trabajo estratégico.

Descripción: En esta fase se establecerá el equipo de trabajo integrado por el conjunto de actores, la metodología a seguir, y se aplicarán esquemas de planificación y gestión estratégica.

Objetivo de la fase: Confección de un programa de trabajo definido estratégicamente y delimitado por proyectos específicos.

Actividades: Entre otras, éstas pueden ser las siguientes:

Actividad	Resultado Esperado	Unidad de Medida
Difusión entre los actores institucionales del informe diagnóstico de cada cuenca.	Conocimiento de la situación referencial.	Reuniones
Conformación de la mesa de concertación y determinación los ámbitos de trabajo: Institucional, Técnico, Etc.	Definición del equipo de actores.	Personas
Determinación y jerarquización, por ámbito de trabajo, de los principales problemas a los que se enfrentan los actores.	Conocimiento de los problemas existentes y su prioridad.	Talleres
Fijación de los objetivos a alcanzar y las restricciones involucradas, por ámbito de trabajo.	Definición de los propósitos de la Gestión.	Talleres
Exposición de las soluciones y estrategias que posibilitan el logro de los objetivos, para cada ámbito de trabajo.	Obtención del cómo actuar para cada solución definida y para cada objetivo.	Talleres
Definición de los proyectos que se deben implementar en los cuatro ámbitos de trabajo.	Definición jerárquica de los proyectos seleccionados.	Proyectos

*Nota: Las metas y duración temporal de todas estas actividades se incluirán cuando sean definidas por el equipo técnico encargado del proyecto, y necesariamente deben quedar claramente expresadas para un control eficiente de la actividad.*

**Fase 4.** Aplicación de las estrategias de gestión a las cuencas hidrográficas seleccionadas.

Descripción: En esta fase se llevan a cabo las estrategias y proyectos definidos en la anterior, en un esquema que permita en el futuro una adecuada evaluación.

Objetivo de la fase: Implementar los programas operativos definidos en los cuatro ámbitos de trabajo.

Actividades: Entre otras, éstas pueden ser las siguientes:

Actividad	Resultado Esperado	Unidad de Medida
Aplicación de las estrategias y proyectos definidos para el ámbito institucional.	Participación de las instituciones y usuarios de la cuenca.	Actores
Aplicación de las estrategias y proyectos definidos para el ámbito de la Educación y Capacitación.	Capacitación de técnicos y usuarios.	Cursos
Aplicación de las estrategias y proyectos definidos para el ámbito de la Investigación.	Implementación de proyectos de investigación e intercambio de resultados entre los actores.	Proyectos
Aplicación de las estrategias y proyectos definidos para cada ámbito.	Implementación de proyectos coordinados de gestión técnica de la cuenca hidrográfica.	Proyectos

*Nota: Las metas y duración temporal de todas estas actividades se incluirán cuando sean definidas por el equipo técnico encargado del proyecto, y necesariamente deben quedar claramente expresadas para un control eficiente de la actividad.*

**Fase 5.** Retroalimentación y seguimiento.

Descripción. Esta fase permite la evaluación y retroalimentación de las estrategias y proyectos definidos por los actores.

Objetivo de la fase: Determinar los puntos fuertes y los débiles de las propuestas implementadas.

Actividades: Entre otras, éstas pueden ser las siguientes:

Actividad	Resultado Esperado	Unidad de Medida
Comparación de los resultados esperados y los reales, de las estrategias y proyectos implementados para cada uno de los cuatro ámbitos.	Conocimiento de la evolución real de las estrategias trazadas en cada uno de los ámbitos.	Taller e Informe
Identificación de las situaciones que provocan diferencias entre los resultados esperados y los observados.	Conocimiento de las fortalezas y debilidades de las actuaciones desarrolladas.	Taller e Informe
Redefinición de los proyectos que han de implementarse en los cuatro ámbitos de trabajo.	Solucionar los problemas que impiden alcanzar los resultados esperados y aprovechar las ventajas que permiten superar los logros propuestos.	Taller e Informe

*Nota: Las metas y duración temporal de todas estas actividades se incluirán cuando sean definidas por el equipo técnico encargado del proyecto, y necesariamente deben quedar claramente expresadas para un control eficiente de la actividad.*

**Fase 6.** Definición de los Planes Directores.

Descripción. Esta última fase es la que permite, merced a la experiencia acumulada en el proyecto, proponer esquemas de trabajo para las áreas en estudio y otras unidades similares.

Objetivo de la fase. Definir los planes directores para cada uno de los ámbitos y proponer metodologías sistémicas de aplicación en otras unidades hidrográficas similares desde un punto de vista físico y social.

Actividades: Entre otras, éstas pueden ser las siguientes:

Actividad	Resultado Esperado	Unidad de Medida
Determinación del Plan Director Institucional de Recursos Hídricos para las cuencas hidrográficas involucradas.	Definición de una política de trabajo en el ámbito institucional.	Informe
Determinación del Plan Director Técnico de Recursos Hídricos para las cuencas hidrográficas involucradas.	Definición de una política de trabajo en el ámbito técnico.	Informe
Determinación del Plan Director de Educación y Capacitación de Recursos Hídricos para las cuencas hidrográficas involucradas.	Definición de una política de trabajo en el ámbito de la educación y capacitación.	Informe
Determinación del Plan Director de Investigación en Recursos Hídricos para las cuencas hidrográficas involucradas.	Definición de una política de trabajo en el ámbito de la investigación.	Informe

*Nota: Las metas y duración temporal de todas estas actividades se incluirán cuando sean definidas por el equipo técnico encargado del proyecto, y necesariamente deben quedar claramente expresadas para un control eficiente de la actividad.*

✓ **Resultados Esperados**

Las consecuencias previstas de una propuesta de este tipo, son las siguientes:

- Participación organizada de los actores en torno a la toma de decisiones, la orientación técnica y la supervisión de la marcha del proyecto, en un medio natural altamente demandante de soluciones sistémicas, como son las zonas áridas y semiáridas.
- Disposición, por parte del proyecto, de recursos aportados por los diversos actores, lo cual debería permitir la obtención de parte de los medios que demanda la realización de un proyecto de esta magnitud técnica.
- Conformación de Grupos de Trabajo en Gestión de Cuencas Hidrográficas (en particular), de Recursos Hídricos, que en función de ciertos aspectos metodológicos, orienten la definición y praxis de un Plan de Ordenación Territorial.
- Incorporación en el acervo de trabajo de la necesidad de interactuar con sus interlocutores, de los diversos actores endógenos y exógenos al área en estudio. Con ello pretenden obtenerse marcos sinérgicos de trabajo, en un espacio territorial definido.
- Obtención de orientaciones técnicas de planificación estratégica, física y socioeconómica, que permitan abordar efectiva y eficientemente el desarrollo de Planes de Ordenación Territorial.
- Por último, se prevé la obtención de un Plan de Trabajo para cada una de las cuencas analizadas, a través de un documento sintético y pragmático, resultado de una acción concertada y, por ende, poseedor de la legitimidad necesaria para su puesta en marcha, ejecución, evaluación y retroalimentación.

✓ **Consideraciones Finales**

La propuesta que se ha planteado en ningún caso es excluyente de otras opciones que se puedan integrar para mejorar o complementar lo expuesto. De hecho, es parte de su esencia el considerar retroalimentaciones efectivas y eficientes, dado su carácter sistémico. Así, en esta proposición se buscan los efectos de las interacciones de todo tipo que genera la gestión de los recursos hídricos, más que la propia naturaleza de tales interacciones.

Por otra parte, el modelo que se propone posee el carácter sistémico ya señalado, la actuación específica, en aspectos como la investigación y no descarta la aplicación de métodos analíticos, dado que ellos son el soporte de tales actuaciones. Lo importante es determinar qué se desea alcanzar con el proceso de gestión de los recursos hídricos de una región o una cuenca, para posteriormente definir cómo se lograrán los objetivos que se plantean.

Por tanto, el uso de métodos sistémicos de trabajo será más eficiente en este caso, pero la actuación específica demandará mayores alcances de tipo analítico.

En el mismo marco, la capacidad del método propuesto es muy potente en escenarios en los que se conjugan aspectos sociales, económicos, científicos, políticos, etc., y especialmente en un tema como el de la gestión del agua. Sin embargo, este tipo de Plan debería incorporar la participación de expertos regionales de toda índole, en virtud de que las propuestas de actuación han de resultar próximas a la realidad local.

De esta forma, el Plan se construye como un instrumento concreto que apunta al logro de metas bien definidas, lo que permite evaluar su marcha en función del cumplimiento de dichas finalidades. No obstante, el Plan que se propone precisa de una conducción eficiente, a fin de alcanzar esos objetivos, requiere ductilidad para permitir el análisis de lo realizado, y enmendar esquemas inadecuados de trabajo, y demanda mucho rigor y disciplina de actuación, para poder llevarlo a buen término desde un punto de vista gerencial, global y específico.

Por otra parte, las propuestas que se deriven de las distintas fases de trabajo, suponen la participación de diversas instituciones, instancias y esfuerzos, lo que requiere de una alta capacidad de trabajo y de organización. Este desafío debe ser asumido, según la opinión del autor, por la institución que actúa en una región, cuenca o área determinada, en la gestión de los recursos hídricos, en particular, y de los naturales, en general.

Finalmente, implementar una propuesta estratégica como la que se propone, implica la necesidad de estructurar estrategias participativas que posean la cualidad de ser sostenibles en el tiempo y el espacio. Esto sólo puede ser conseguido con la participación de la mayor cantidad de los actores involucrados en estas tareas. En este espíritu se han estructurado estas propuestas, y se espera que en función de ello, y por la experiencia del autor y de otros muchos técnicos en diversos países de América, éstas puedan contribuir al logro del objetivo que subyace en este documento: la mejora de la calidad de vida de la población dependiente del agua en las zonas áridas y semiáridas de nuestro planeta.

## 2.6. Evaluación de la demanda

La evaluación de la demanda es equivalente a explicitar la cantidad y calidad de agua necesaria para el uso a que se refiere. Es interesante destacar el matiz de necesidad, que implica algún tipo de premura o imposición, frente al auténtico significado del término, de petición o formulación de deseo, y frente al matiz añadido de por la teoría económica al hacer depender la cantidad solicitada, del precio de adquisición.

Considerando al sistema hidrológico en tiempo presente, la necesidad existe para el usuario porque le es preciso realizar el aprovechamiento de que se trate, y también para el gestor del recurso en la medida en que el uso este amparado por un contrato, o por una disposición legal o administrativa. Puede hablarse entonces con propiedad de la obligación de satisfacer la demanda.

En toda planificación las principales hipótesis son las referentes a la evolución futura:

- a) la población y su renta o ingresos.
- b) los sistemas de gustos o preferencias relativas de los consumidores.
- c) costos de producción del bien que se trate.

Los dos primeros aspectos determinan la demanda del bien y el tercero su oferta. Podemos hablar entonces del agua como bien económico, por lo tanto:

1. Es susceptible tanto de uso o consumo privado (doméstico, agrícola, etc.) como colectivo (salud y seguridad pública, actividades recreativas, etc.) siendo difícil la percepción de un precio en el segundo caso.
2. No existen prácticamente mercados de agua, no hay venta sino prestación pública o privada. Los precios se sustituyen por tarifas o cánones, según criterios políticos y económicos.

### 1. ***Demanda para usos urbanos***

Se engloban en esta categoría los usos domésticos, comerciales, de pequeñas industrias y públicos o municipales (escuelas, hospitales, parques, etc.).

La cantidad de agua utilizada en un hogar depende en general del tamaño de la familia, de sus ingresos, del clima, del precio o tarifa, de la presión de la red y de que haya o no medidores.

Los usos comerciales se refieren al agua utilizada en oficinas y comercios, dependiendo del tamaño del núcleo urbano, peso del sector terciario en la economía del mismo, de los ingresos o renta media en la ciudad y de su área de influencia.

El uso por parte de pequeñas industrias depende también de los ingresos de los ciudadanos y del peso de las industrias.

El uso del agua en lugares públicos también depende de los ingresos o renta media por habitante y tamaño de la ciudad.

### Proyecciones de población

La población es el principal factor determinante de las demandas y su evolución a largo plazo está sujeta a un alto grado de incertidumbre.

1. extrapolación gráfica o matemática de la serie temporal histórica. La simple extrapolación gráfica, la adopción de incrementos uniformes en el tiempo, de tasas constantes o decrecientes, el ajuste a una curva logística, son procedimientos simples utilizados a menudo, pero no consideran las relaciones causa efecto.
2. método demográfico utiliza como parámetros el cálculo de tasas de fecundidad, mortalidad y de migraciones.
3. estimación mediante porcentajes es aplicable a subáreas de una zona grande para los que se dispone de una proyección hecha por otro método. El porcentaje se decide en función de la tendencia histórica del parámetro y de la evolución probable de la economía local.
4. método económico no considera a la población como una variable exógena, sino determinada por el nivel de actividad y empleo previsto para la zona. Este método es aplicable en zonas o polos industriales y para casos concretos con prevenciones económicas singulares.

### Aprovisionamiento de Agua Potable

En Argentina estaba a cargo Obras Sanitarias de la Nación (O.S.N.), actualmente se federalizó y en general lo administra cada provincia, municipios o cooperativas. En Capital Federal y Gran Buenos Aires quien administra el Agua es una empresa privada pero sólo por la gran cantidad de habitantes. Hay que tener en cuenta que el agua potable, sin cloacas, es un servicio incompleto.

En 1991 para Argentina  
14.000.000 habitantes sin agua potable.  
21.000.000 habitantes sin servicios cloacales.

En Santa Rosa (La Pampa) para 75000 habitantes  
55.000 habitantes con agua potable  
51.000 habitantes con desagües cloacales

En la planificación se debe prever un plazo de ejecución de obras de 25 a 30 años, con una vida útil de las mismas de 50 años aproximadamente, y ver cómo va a ser la demanda con el aumento de población y la mayor cantidad de agua consumida por h/día.

Las proyecciones de crecimiento de las poblaciones se realizan, en su mayoría, según la fórmula de interés compuesto:

$$P_f = P_i * (1 + i/100)^n$$

i = tasa de interés.

n = años.

P<sub>f</sub> = Población final.

P<sub>i</sub> = Población inicial.

A fin de estimar la población inicial a partir de un censo anterior, se suele afectar por un factor entre el 10 y el 15 % (tasa de interés anual), a la población censada.

$$P_i = P_0 * 1.1$$

Se debe tener en cuenta al dimensionar las obras, que siempre la mayor demanda se encuentra al final del período.

## **2. Demanda industrial**

Se puede clasificar en: a) refrigeración, b) elaboración, c) calderas y d) usos generales (limpieza, agua potable, etc.). Las proporciones varían, pero en general el uso dominante es la refrigeración que puede ser del 60 al 80 %.

El agua no es un insumo importante para el desarrollo industrial, su costo suele representar usualmente menos del 1% del costo de producción, aun teniendo en cuenta los costos por contaminación y tratamiento de efluentes. Por consiguiente hay muchas más probabilidades de conseguir eficiencia en el uso del agua y en la lucha contra la contaminación que en los usos domésticos y agrícolas.

## **3. Demanda agrícola**

Depende del clima, tipo y área del cultivo, prácticas de riego (tipo, eficiencia, transporte, etc.), suelo, rendimiento deseado y calidad de agua.

Si el análisis se realiza a nivel nacional se debe tener en cuenta las necesidades alimenticias a mediano y largo plazo, a partir de las proyecciones de población y de la dieta alimentaria que se considere adecuada para los horizontes de planificación que se contemplen. Además se deberá tener en cuenta un conjunto de factores políticos y técnicos como el grado de autoabastecimiento, realidades o perspectivas de integración económicas en comunidades supranacionales, la competitividad de los productos, etc.

Es conveniente para la planificación, fundamentalmente si el consumo per cápita es elevado, discriminar los distintos usos como los arriba descritos. Si el consumo es menor puede bastar con manejar un solo parámetro de dotación que englobe a todos los usos.

### **3.1. Riego**

El riego básicamente, consiste en aportar al suelo la humedad que las plantas necesitan para su desarrollo vegetativo. El principal objetivo es el de encontrar en un radio relativamente restringido el agua disponible, llevarla luego al lugar de cultivo, y repartirla finalmente en cantidades y oportunidades perfectamente determinadas. La fuente de aprovisionamiento puede ser tanto un recurso superficial como subterráneo, desde donde las aguas son derivadas o tomadas y luego conducidas a la cabecera del perímetro de la superficie a regar, mediante un canal o una cañería de impulsión según el caso. Los criterios para la elección de un sistema de riego son *técnicos* y *económicos*, no obstante no se pueden ignorar los *factores humanos*.

#### **a) Criterio técnicos**

##### **1. Riego de superficie o gravedad**

Es el método más antiguo, aproximadamente el 90% de las tierras regadas lo son con este sistema.

Limitaciones

- ✓ Necesidad de mano de obra que dependerá a su vez de la mecanización y la automatización en la aplicación del agua.
- ✓ Consumo de agua elevado, siendo excesivo cuando los factores que lo producen, como pérdidas en las cabeceras de los surcos, percolación profunda, escorrentía en las colas de los surcos, se acumulan negativamente. Una causa son las pérdidas que se producen en las regueras de distribución constituyendo una
- ✓ “cabecera parcelaria muerta”. Otra causa del elevado consumo, es que para lograr una infiltración adecuada en la cola de la parcela, se debe prolongar el riego, lo que origina pérdidas en su cabecera por exceso de riego, como en su cola por escorrentía de los desagües. Para evitar estos inconvenientes se debe nivelar adecuadamente la parcela, o utilizar el método de caudales variables, un caudal inicial alto (fase de humedecimiento) y luego un caudal de mantenimiento (fase de infiltración). Esto se logra mediante el uso de tuberías con orificios de apertura y cierre variables, mediante el uso de caudales decrecientes “cut-back”, o los
- ✓ denominados por oleadas o impulsos “surge-flow”.
- ✓ Topografía.
- ✓ Permeabilidad de suelo.

Las principales desventajas son

- ✓ Falta de uniformidad en la aplicación de agua.
- ✓ Dificultad de aportar pequeñas cantidades y frecuentes.
- ✓ Necesidad de mano de obra.
- ✓ Elevado coste de las nivelaciones.
- ✓ No se puede utilizar para control de heladas.

2. Riego por aspersión

Basado en el fenómeno de las lluvias, cuando éstas son lo suficientemente abundantes como para llenar las reservas del suelo, pero no llegan a ser tan copiosas que producen escorrentías ni erosionan los suelos cultivables. Todo sistema de riego por aspersión no es más que una combinación de elementos básicos como: órganos de riego como aspersores giratorios, toberas difusoras o cañones y tuberías rígidas o flexibles, fijas o móviles que se denominan alas de riego.

A su vez los sistemas de aspersión (tubos de abastecimiento y elementos de aplicación del agua) pueden ser no propulsados (aunque pueden cambiarse de posición entre dos riegos) o autopropulsados denominados máquinas de riego.

2.1. Equipos No autopropulsados

- 2.1.1. Equipos enteramente móviles y semimóviles: compuesto por aspersores giratorios y un cierto número de tubos de diversos diámetros.
- 2.1.2. Equipos semifijos: mayor número de aspersores y alas de riego llegando a la cobertura total. Las tuberías pueden ser fijas o semifijas, donde se van cambiando los aspersores de una posición a otra.

2.1.3. Equipos de cobertura total: sistema enteramente fijo, en el que todos los elementos son inamovibles, al menos, durante la campaña de riego.

2.1.4. Equipos con cañones y alas giratorias

2.1.4.1. Cañones

2.1.4.2. Alas o brazos giratorios gigantes “Booms o Pivots” giran por reacción de los chorros de agua sobre un eje vertical montado en un bastidor de ruedas.

2.2. Equipos autopropulsados

2.2.1. Cañones

2.2.1.1. Cañón autopropulsado

2.2.1.2. Enrolladores

2.2.2. Alas de riego (con aspersores o difusores)

2.2.2.1. De avance radial o “pívor”

2.2.2.2. De avance frontal

En general se tiene para el riego por aspersión se tiene:

#### Ventajas

- ✓ no es necesario nivelar el terreno
- ✓ apropiado para suelos con alta permeabilidad
- ✓ permiten regar de noche
- ✓ poca mano de obra
- ✓ posibilidad de riegos cortos y frecuentes

#### Desventajas

- ✓ elevado costo de instalación
- ✓ existen cultivos que no se adaptan al riego aéreo
- ✓ sensibilidad al viento

### 3. Microriego o riego localizado

Se basa en la formación de un bulbo húmedo centrado en el sistema radicular.

Los tipos de emisores son:

#### 3.1 Goteros

3.1.1 Autorregulables o autocompensantes

3.1.2 Autopurgantes o autolimpiantes

#### 3.2 Orificios calibrados

#### 3.3 Minidifusores o microaspersores

#### 3.4 Riego subterráneo

### Ventajas

- ✓ las aplicaciones frecuentes y en pequeñas dosis.
- ✓ pérdidas de agua reducidas.
- ✓ menor costo de la red de distribución debido a los menores caudales utilizados, además no se necesita red de drenaje.
- ✓ eficiencia elevada.
- ✓ las interlineas permanecen secas, lo que no obstaculiza las labores culturales durante el riego.
- ✓ las partes foliares permanecen secas, siendo menores los tratamientos fitosanitarios.
- ✓ es aplicable a terrenos accidentados.
- ✓ es el método que mejor permite utilizar: aguas demasiado frías o calientes, aguas salobres o incluso salinas sin perjuicio para las hojas y aguas de vertidos domésticos sin peligro de contaminación aérea.

### Desventajas

- ✓ Riesgos de obstrucción dada las pequeñas secciones, velocidades y caudales a conducir, por causas físicas, químicas (incrustaciones) y por agentes biológicos (desarrollo de colonias, microorganismos, etc.).
- ✓ No se puede utilizar en suelos que impidan el adecuado movimiento lateral del agua como en los arenosos muy permeables o los arcillosos pesados, susceptibles de agrietamientos.
- ✓ Concentración de raíces en la zona húmeda.
- ✓ zonas salinizadas en el límite del bulbo húmedo.
- ✓ Inversión elevada por ser la red fija y automatizada.

#### **b) Criterio económico**

Una buena elección económica es la que corresponde a un máximo beneficio posible del conjunto de la explotación. Obviamente el margen bruto (MB) es igual a la suma de los beneficios menos los gastos fijos. Además se lo puede expresar en función del producto bruto (PB) y de los costes variables o proporcionales (CP).

$$\text{MB} = \text{PB} - \text{CP}$$

Donde el óptimo depende del crecimiento del PB y/o de la disminución de los CP. Hay que tener en cuenta que no son siempre independientes el PB y el CP. El incremento del PB puede ser debido a un aumento en la cosecha o a una mejora de la calidad, con la variedad de situaciones intermedias. La reducción de los gastos puede estar ligada a los costos de inversión, mano de obra, maquinaria de tracción, consumo de energía y coste del agua. Una evaluación económica siempre debe llevar aparejado un análisis financiero.

#### **c) Factores humanos**

Intrínsecos

- Resistencia al cambio seco - regadío.
- Nivel educativo.

Ligados al sistema de riego

- Mano de obra
- Estructura parcelaria
- Costumbres técnicas

Independientes del sistema

- Política agraria, hidráulica, financiera, etc.
- Instituciones existentes.

***Condiciones a satisfacer por el sistema de riego***

- a) Fijas, son las que definen el problema a resolver y vienen impuestas siendo poco o nada modificables, las cuales a su vez pueden ser internas o externas.
- b) Variables, que pueden ensayarse bajo ciertas hipótesis, las que se dividen en agronómicas y otras.

Condiciones internas

1) específicas del tipo de explotación:

- Situación personal del empresario (propietario, capacidad,).
- Importancia de los cultivos bajo riego dentro de la explotación.
- Tipos y características de las parcelas (dimensión, forma, dispersión, impedimentos físicos).
- Medios disponibles: tesorería, medios de tracción, mano de obra.

2) específicas del tipo de suelo:

- Características hidrodinámicas del suelo: capacidad de campo, conductividad hidráulica.
- Características estructurales del suelo: tipo, horizontes, etc.
- Características topográficas del terreno

Condiciones externas

1) impuestas por el clima

- Necesidades hídricas de los cultivos: ETP, ET0, coef. de cultivo K, necesidades de agua de riego, optimización de las reservas de agua del suelo, salinización del suelo-lixiviación, riego necesario y riego complementario.
- Efectos del viento
- Efectos de la temperatura y el ambiente

2) impuestas por el recurso agua

2.1 aspectos cuantitativos

- Recursos disponibles (volúmenes)
- Riego por turno de agua

- Riego a demanda
- Limitaciones de caudal y presión de servicio

## 2.2 aspectos cualitativos

- Calidad biológica.
- Calidad física.
- Calidad química.

Otras condiciones son las técnico-comerciales y condiciones energéticas.

### Condiciones agronómicas

- Tipo de cultivo
- Duración del ciclo vegetativo
- Procedimientos de cultivo (densidad y método de cultivo, labores, tratamientos fitosanitarios)
- Específicas: altura de las plantas, sensibilidad, períodos fenológicos críticos, importancia del desarrollo radicular.

Otras condiciones es el riego para usos múltiples: antiheladas, fertirrigación y fitosanitario, etc.

### **3.2. Diseño de red de agua**

Si se pretende diseñar una red de riego y utilizar por ejemplo, como fuente de abastecimiento un recurso superficial, tomando el agua a partir de una captación en un río, primeramente se debe considerar:

- Estudio hidrológico del río.
- Estudio climático.
- Estudio de suelos.
- Estudio geomorfológico.
- Obras civiles existentes.

Con estos datos se confeccionan los planos correspondientes, a distintas escalas según los objetivos. Detalle 1:5000, reconocimiento 1:25000.

### **3.3. Red de riego**

Conjunto de órganos, obras y aparatos que aseguren el transporte y distribución a cada explotación agrícola y aún a cada parcela, del agua necesaria para regar, y que a su vez, permita evacuar el agua que drena de la zona de riego, por haberse aplicado en exceso.

1. Conducción: Cualquiera que fuese el origen del agua, la misma debe ser llevada a la parte más alta de la zona a regar.

1.1 Canal matriz: canal de sección constante y generalmente revestido, es una obra costosa y a menudo de gran extensión. Su función es la de conducir el agua desde la obra de toma o derivación en un río, o bien desde una captación en el suelo siempre y cuando exista una altura suficiente, a la cabecera de la zona de riego.

- 1.2 Cañería de impulsión: Su función es la de conducir el agua desde una estación de bombeo en las proximidades de una reserva natural (curso de agua, lago, perforación, etc.) o a partir de un embalse, hasta la cabecera de la zona de riego.
2. Canal principal: Nace en la cabecera de la zona de riego y domina todo el perímetro a regar.
3. Canales secundarios
4. Canales terciarios
5. Regueras, acequias o canales de último orden: llevan el agua a las parcelas a regar.

### **3.4. Red de Drenaje**

Es una red recíproca a la de distribución. Los canales de drenaje o desagüe son complementarios, tienen como objetivo conducir fuera de la superficie a regar los excedentes hídricos que resultarían nocivos para los cultivos, interceptando y evitando que los niveles freáticos alcancen la zona de raíces, por ello son canales sin revestir. La cantidad de drenes es función de los caudales a evacuar y de a que profundidad se pretende establecer el nivel freático, dependiendo a su vez del tipo de suelo.

En general para el aprovechamiento bajo riego:

- a) obras de captación.
- b) obras de conducción.
- c) obras de distribución.
- d) obras interiores de cada finca.
- e) obras de drenaje.
- f) obras anexas: compuertas, aliviaderos, aforadores, desarenadores, puentes, etc.

#### Tipos de canales

Según construcción:

- a) revestidos
- b) s/ revestir (más económicos, pero poseen alta l y problemas con la vegetación).

Según sección:

- a) rectangulares
- b) semicirculares
- c) trapezoidales (más común)

La pendiente debe ser tal que el agua adquiera la velocidad necesaria para alcanzar el caudal previsto, siempre según el tipo de canal .

0.2 - 0.5 % canal primario o principal.

0.6 - 0.8 % canales secundarios.

### **3.5. Elementos básicos para el estudio de una red de riego**

El elemento principal lo constituye el cálculo de la necesidad total de agua requerida por las plantas en el área a regar; dicha necesidad es variable según el cultivo, el clima, el suelo y el sistema de riego que se utilice.

Sin embargo además se debe contemplar dos condicionantes:

- a) La necesidad de agua por parte del cultivo varía a lo largo de su ciclo vegetativo activo.
- b) No es práctico ni viable económicamente regar en forma continua, es preferible efectuar un cierto número de riegos más abundantes pero de duración limitada, determinados por el tipo de suelo.

Curva almacenamiento (volumen) - área

A cada una de las elevaciones de la superficie del agua  $h_j$  en el embalse le corresponde un área superficial  $A_j$  y un volumen de almacenamiento  $S_j$ . La relación entre  $S_j$  y  $A_j$  constituye la curva almacenamiento área.

El área superficial se determina midiendo en mapas topográficos el área incluida dentro de la línea de nivel de elevación  $h_j$ . La lonja de almacenamiento horizontal entre las elevaciones  $h_j$  y  $h_{j+1}$  tiene un área promedio de  $(A_j + A_{j+1})/2$  y un espesor de  $h_{j+1} - h_j$ , de tal manera que el almacenamiento en el nivel superior  $j+1$  es:

$$S_{j+1} = S_j + \frac{(h_{j+1} - h_j) * (A_j + A_{j+1})}{2}$$

La curva de almacenamiento - área calculada de esta manera corresponde a las condiciones topográficas de la fecha de construcción del embalse. Con el tiempo puede modificarse debido a la sedimentación en el embalse, la cual reduce tanto el almacenamiento como el área para una elevación dada de la superficie de agua. Es necesario determinar entonces la tasa de sedimentación y como se distribuye el sedimento depositado en el embalse.

Caudal firme

Es la tasa de desembalse media anual que bajaría el nivel a su mínimo permitido solamente una vez durante la sequía crítica de registro. La sequía crítica es un periodo con una duración de varios años que contiene lluvias y caudales bajos sostenidos para el cual existen registros hidrológicos de lluvias, caudales y evaporación, cerca del sitio del embalse. El caudal firme se determina simulando el balance de agua en el embalse utilizando intervalos mensuales de tiempo. Se inicia el cálculo del balance de agua con el embalse, hacia adelante como:

$$S_t = S_{t-1} + I_t - Ydt - A_t et - Q_t \quad t = 1,2,\dots,T$$

Donde  $S_{t-1}$  y  $S_t$  son los almacenamientos al principio y al final del mes  $t$ ,  $I_t$  es el caudal mensual de entrada al embalse para el mes  $t$ , obtenido de la serie histórica,  $A_t$  es el área superficial,  $et$  es la evaporación neta (evaporación menos la precipitación en la superficie del embalse) y  $Q_t$  el volumen de descarga a través del vertedero en el mes  $t$ ,  $Y$  es la tasa de desembalse, es la relación entre el uso de agua medio mensual y el uso medio anual, denominada factor de demanda, que representa la proporción del caudal firme anual necesario en el mes  $t$ .

Si el rango permisible de operación de almacenamiento está localizado entre  $S_{min}$  y  $S_{max}$ , el caudal firme es el valor de  $Y$  que da  $S_t = S_{min}$  solamente una vez durante el periodo de cálculo (con  $S_t > S_{min}$  para los demás meses). Normalmente el caudal a través del vertedero  $Q_t = 0$ , pero cuando los caudales de entrada en el embalse son altos puede ocurrir que  $S_t$  resulte mayor que  $S_{max}$ , en ese caso,  $Q_t = S_t - S_{max}$  y se utiliza el nuevo valor de  $S_t = S_{max}$  en el siguiente paso computacional.

## 2.7. Dotaciones

Caudal de agua a suministrar por habitante y por día.

La dotación varía en el tiempo, en Santa Rosa (La Pampa), por ejemplo la dotación es de 250 l/h/día. Valor enmascarado por la componente riego y uso industrial.

Para España, el rango de la dotación varía entre 100 y 400 l/h/día, en cambio para Estados Unidos el rango varía entre 200 y 1500 l/h/día.

-Un 105 % de aumento en la dotación para 28 años en EEUU (función exponencial).

-En Argentina se adapta más una curva logarítmica, que para 30 años aumenta en un 150 % con desagües cloacales y un 110 % sin desagües cloacales.

### Diseño de un embalse para abastecimiento de agua:

Las variables primordiales que deben determinarse para el diseño de un embalse para el suministro de agua son la localización y la altura de la presa, la elevación y la capacidad del vertedero, y la capacidad y el modo de operación de las estructuras de descarga.

Dos variables hidrológicas son supremamente muy importantes: la capacidad de almacenamiento en el embalse y el caudal firme, o descarga de agua promedio anual a través de la presa, que pueda garantizarse utilizando la información histórica.

### Resumen del proceso de diseño:

El diseño hidrológico de un embalse involucra cuatro pasos:

- 1) Proyección a futuro de la demanda de agua que debe ser suministrada por el embalse.
- 2) Determinación de la localización y elevación de la presa, cálculo de sus curvas área superficial - capacidad de almacenamiento, para condiciones presentes y futuras.
- 3) Cálculo del caudal firme, actual y futuro.
- 4) Comparación de la demanda de agua con el caudal firme del embalse para determinar su vida útil, o periodo de años durante el cual el embalse cubrirá las demandas.

**MÓDULO 3.** Gestión integrada de los recursos hídricos. Aspectos básicos de la gestión. Obstáculos para la gestión. La gestión y sus herramientas. Modelos matemáticos de gestión: superficial, subterránea y conjunta. Clasificación: optimización y simulación. Riesgos y garantías. La información hidrológica como base para la toma de decisiones.

---

### 3. GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La Asociación Global del Agua (Global Water Partnership, GWP, 2000) define la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como “un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el resultante bienestar económico y social de una forma equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales”.

La GIRH implica una mayor coordinación en el desarrollo y gestión de tierras, aguas superficiales y subterráneas, cuencas hidrográficas y entornos costeros y marinos adyacentes, e intereses aguas arriba y aguas abajo. Pero la GIRH no se limita a la gestión de recursos físicos, sino que se involucra también en la reforma de los sistemas sociales, con el fin de habilitar a la población para que los beneficios derivados de dichos recursos reviertan equitativamente en ella.

Es de conocimiento general que la forma en que se gerencia el agua hoy en día no es sostenible desde el punto de vista ambiental, como tampoco lo es en términos financieros y sociales. GIRH se define como un proceso de cambio el cual pretende transformar la gestión del agua existente, razón por la cual no tiene un punto de inicio como tampoco uno de finalización. La economía global y la sociedad son dinámicas así también el ambiente, es por esto que los diferentes sistemas que se basen en la GIRH deben saber responder a los cambios y ser capaces de adaptarse a nuevas condiciones y/o variaciones económicas, sociales, ambientales y de valores humanos.

GIRH no es un fin en sí, sino un medio que permite cumplir con 3 objetivos estratégicos:

- ✓ Eficiencia para lograr una mayor durabilidad de los recursos hídricos.
- ✓ Equidad en la disposición del recurso agua entre los diferentes grupos socioeconómicos.
- ✓ Sostenibilidad ambiental, para proteger los recursos hídricos y los ecosistemas conexos.

Podría decirse que los actores gubernamentales, al enfrentarse con la perspectiva de los cambios drásticos que conlleva implementar GIRH en sus regiones, podrían concluir que este reto es muy complejo, pues comprende muchas políticas difíciles de crear, como también decisiones a tomar. Sin duda alguna, es mucho más fácil dejar el sistemas como está, así se podrían evitar confrontaciones de aquellos que se benefician de la situación actual. Sin embargo, mantener las políticas y prácticas existentes no es una opción, pues los problemas se agravarán y se complicará aún más el proceso de solución. La gran diversidad de factores ambientales, sociales y económicos que afectan o son afectados por el manejo del agua avala la importancia de establecer una gestión integrada del recurso hídrico (en contraposición al manejo sectorizado y descoordinado). Ello requiere un cambio de paradigma; pasando del tradicional modelo de desarrollo de la oferta hacia la necesaria gestión integrada del recurso, mediante la cual se actúa simultáneamente sobre la oferta y la demanda del agua, apoyándose en los avances tecnológicos y las buenas prácticas. Asimismo, la gestión hídrica debe estar fuertemente vinculada a la gestión territorial, la conservación de los suelos y la protección de los ecosistemas naturales (Cohife, 2003).

### 3.1. Aspectos básicos de la gestión

En la definición de políticas y planes, la adopción de un enfoque de GIRH requiere (Pochat, 2008).

- ✓ Políticas y la determinación de prioridades que consideren la repercusión sobre los recursos hídricos, incluyendo la relación mutua existente entre las políticas macroeconómicas y de desarrollo y las estrategias para reducción de la pobreza (entre otras políticas nacionales) y el desarrollo y gestión del agua.
- ✓ Todos los actores involucrados y particularmente los políticos y funcionarios claves, tanto de los organismos tradicionalmente relacionados con los recursos hídricos (como agricultura o energía), como de los tradicionalmente menos vinculados (como planificación o finanzas) comprendan cabalmente el significado e implicancias de la GIRH y la involucren en sus políticas y programas respectivos.
- ✓ Desarrollo de políticas que efectúen una integración intersectorial, identificando y acordando mecanismos de coordinación para la toma de decisiones en relación a la gestión de recursos hídricos y evitando superposición de funciones y eventuales contradicciones.
- ✓ Considerar los niveles de descentralización más adecuados para la gestión de los recursos hídricos, de acuerdo a las características sociales, política y económica de cada país.
- ✓ Los grupos de interesados puedan involucrarse en la planificación, toma de decisiones y gestión del agua, garantizando en especial la participación de los grupos menos favorecidos (mujeres, jóvenes, comunidades indígenas, entre otros).
- ✓ Las decisiones relacionadas con el agua adoptada a nivel local o en la cuenca hidrográfica estén en línea o, por lo menos, no interfieran en la consecución de objetivos nacionales más amplios.
- ✓ La planificación y estrategias en el ámbito hídrico contemplen objetivos sociales, económicos y ambientales que se encuentren interconectados.

En la práctica, ello implica otorgar al agua el lugar que le corresponde en la agenda política nacional, crear una mayor “conciencia sobre el agua” entre los responsables de diseñar las políticas en el ámbito de la economía y en los sectores relacionados con el agua, activar canales de comunicación más eficaces y un proceso de toma de decisiones consensuado entre los organismos gubernamentales, organizaciones y grupos de interés no gubernamentales, y estimular a la población a superar las definiciones sectoriales tradicionales. Asimismo, dado que la implementación de la GIRH trae consigo una gran demanda de nuevas capacidades, resulta indispensable prever el diseño de programas de desarrollo de capacidades para apoyar el proceso.

Los principios básicos que habría que considerar como base de un plan o de una estrategia nacional de GIRH son los siguientes (Pochat, 2008):

1. El **agua es un recurso finito, vulnerable e indispensable** para la vida de los seres humanos y de la naturaleza y un insumo imprescindible en numerosos procesos productivos, por lo que debe ser necesariamente contemplado tanto en los planes específicos de gestión de los recursos hídricos, como en todos los planes generales y sectoriales de cada país relacionados con la protección del ambiente y el desarrollo social y económico.

2. El **agua es un recurso único** – con distintas fases (atmosférica, superficial y subterránea) – y móvil. Al desplazarse en el espacio – manteniendo la unicidad del ciclo hidrológico – va relacionando entre sí y con los seres humanos y los otros componentes del ambiente. Por lo tanto, la **gestión de sus distintas fases debe realizarse en forma conjunta**, teniendo en cuenta sus respectivas características específicas e interrelaciones y la vinculación entre las actividades que se realicen aguas arriba con las de aguas abajo en los distintos cuerpos de agua, articulando coherentemente la gestión hídrica con la gestión ambiental.
3. El **agua es un recurso de ocurrencia variable tanto espacial como temporalmente**. Por lo tanto, para disponer de ese recurso en los lugares en que se lo requiera y en el momento oportuno, los planes de gestión deberán contemplar la construcción y el mantenimiento de obras hidráulicas de retención y conducción, con la debida consideración de sus respectivos impactos sociales, ambientales y económicos.
4. El **agua se desplaza sobre la superficie del terreno dentro de un espacio** – la cuenca hidrográfica – definido por sus mayores altitudes, que establecen la divisoria de las aguas, y bajo la superficie, de acuerdo a las características geológicas de los acuíferos. Dado que el movimiento de las aguas responde a leyes físicas y no reconoce fronteras político-administrativas, las cuencas hidrográficas y los acuíferos – dentro de una misma jurisdicción o en diferentes jurisdicciones – constituyen la unidad territorial más apta para la planificación y gestión de los recursos hídricos. Los análisis y discusiones sobre la asignación del recurso hídrico entre los distintos usuarios y el ecosistema se facilitan al estudiarse a nivel de cuenca, donde tiene lugar gran parte de la “integración” contemplada por la GIRH. Cabe señalar, sin embargo, que muchas decisiones que afectan a la gestión de los recursos hídricos – dentro de un sector o entre sectores (como producción de alimentos, minería, salud y energía, entre otros) – sólo pueden tomarse a nivel de país y no a nivel de cuenca o aun dentro del sector hídrico. Consecuentemente, ambos niveles de decisión son complementarios, están estrechamente interrelacionados y ambos deberán concurrir a una gestión más adecuada.
5. El **agua tiene usos múltiples** al estar relacionada con el ambiente y con todos los sectores sociales y económicos. Las demandas de agua para el consumo humano básico y la sostenibilidad ambiental son prioritarias sobre todo otro uso. El resto de las demandas será satisfecho conforme a las prioridades establecidas por cada país o región. La consideración de la totalidad de las ofertas y demandas de agua en una cuenca permite detectar las mejores oportunidades para su uso – sobre la base de una valoración social, ambiental y económica – lográndose al mismo tiempo minimizar impactos negativos a terceros o al ambiente y anticipar conflictos. Por lo que se requiere articular la planificación hídrica con la planificación ambiental y la planificación del desarrollo social y económico.
6. Frecuentemente los **cursos de agua superficial y los acuíferos trascienden los límites de una determinada jurisdicción política** (provincia, estado o país), constituyendo sus aguas un recurso hídrico compartido por dos o más jurisdicciones, cuyo uso y protección requerirá una gestión coordinada y consensuada. Los recursos hídricos compartidos por dos o más países deben gestionarse de acuerdo con los principios internacionalmente aceptados de uso equitativo y razonable, obligación de no ocasionar perjuicio sensible y deber de información y consulta previa entre las partes, con la debida consideración de las cuestiones de soberanía.
7. Las **múltiples actividades** que se desarrollan en un territorio (agrícolas, ganaderas, forestales, mineras; procesos de urbanización; instalación de industrias, entre otras) **afectan** de una u otra forma a **sus**

**recursos hídricos.** De ahí la necesidad de vinculación entre la gestión hídrica y la gestión territorial, recurriendo a prácticas sostenibles en todas las actividades que se desarrollen en las cuencas hídricas. Al mismo tiempo exige que el sector hídrico intervenga en las decisiones sobre el uso del territorio e imponga medidas de mitigación y restricciones al uso del suelo cuando pudiera conducir a impactos inaceptables sobre los recursos hídricos.

8. El **agua se transforma en ocasiones en factor de riesgo** ante situaciones asociadas tanto a fenómenos de excedencia como de escasez hídrica, a contaminación y a fallas de la infraestructura. Por su interacción con las actividades de las personas, puede ocasionar daños y hasta pérdidas de vidas humanas y serios perjuicios a los sistemas social, ambiental y económico. La gestión territorial deberá respetar las restricciones que el medio natural impone. Y al mismo tiempo, se deberá desarrollar la normativa, los planes de contingencia y la infraestructura que permitan prevenir y mitigar los impactos negativos causados por aquellas situaciones.
9. La dimensión **ética en la gestión de los recursos hídricos** se logrará incorporando a la gestión diaria la equidad, la participación efectiva, la comunicación, el conocimiento, la transparencia y especialmente la capacidad de respuesta a las necesidades humanas que se planteen. Para alcanzar la plena gobernabilidad del sector hídrico se requiere del compromiso y el accionar conjunto de los organismos de gobierno y de los usuarios del agua para democratizar todas las instancias de la gestión hídrica, hacer uso de los respectivos conocimientos y experiencia para aportar eficacia y eficiencia a dicha gestión y asegurar el control social que evite la corrupción. Se debe fomentar la participación efectiva de toda la sociedad tanto en la definición de objetivos comunes para la planificación hídrica – que pueden derivar o no de responsabilidades legales y estar o no establecidos formalmente – como en el proceso de toma de decisiones y en el control de la gestión, en un ejercicio de verdadera responsabilidad compartida. La descentralización de funciones debe alcanzar el nivel local más próximo al usuario del agua que resulte apropiado, promoviendo la participación de organizaciones comunitarias en la gestión del agua. La construcción de consensos y el manejo de los conflictos constituyen pilares centrales de la gestión integrada de los recursos hídricos, mediante los cuales se busca identificar los intereses de cada una de las partes y construir en conjunto soluciones superadoras que potencien el beneficio general, al mismo tiempo que satisfacen las aspiraciones genuinas de las partes.
10. El **logro de los objetivos de la planificación hídrica se alcanza** mediante la adecuada combinación de acciones estructurales (construcción de infraestructura) y de medidas no-estructurales (medidas de gestión y tecnológicas, y disposiciones legales y reglamentarias que complementen o sustituyan a las obras físicas, tales como normas y medidas para mejorar la eficiencia de uso del agua y tecnologías para disminuir el riesgo hídrico).

### 3.2. Obstáculos para la gestión

Existen una serie de factores que dificultan el desarrollo sostenible de los recursos hídricos, como el cambio climático y la variabilidad natural del recurso, así como las presiones provocadas por las actividades humanas. La combinación de estos factores aumenta la competencia por el agua y conduce a grandes insuficiencias en el suministro del agua. Sin embargo, el problema fundamental es que la visión a largo plazo necesaria para llevar a cabo prácticas sostenibles se ve ensombrecida por la búsqueda de beneficios económicos a corto plazo y por factores políticos. Lo ideal sería que los gestores tuvieran en cuenta las mejores prácticas actuales y los últimos avances tecnológicos para elaborar planes hidrológicos.

Los científicos deben convencer a los responsables de la política de que sus recomendaciones son pertinentes para conseguir que las pongan en práctica. Para afrontar los retos de la gestión sostenible de los recursos hídricos se necesitarán soluciones creativas, así como un aumento de los fondos de dinero destinados a la recopilación de información.

A menudo no se comprenden bien los procesos e interacciones entre los diversos elementos del ciclo del agua, como la lluvia, la nieve, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el deshielo de los glaciares. Esto hace que sea difícil desarrollar estrategias exhaustivas para proteger los recursos hídricos. Resulta relativamente fácil predecir y encontrar soluciones para las diferencias anuales y estacionales en los caudales de agua a partir de las mediciones a largo plazo realizadas en distintos lugares. Sin embargo, es mucho más difícil predecir cuáles serán las variaciones a largo plazo en las próximas décadas.

Las aguas subterráneas se podrían utilizar durante períodos de sequía largos, mientras que los excedentes de escorrentía podrían servir para recargar los acuíferos. Sin embargo, la información fiable sobre las aguas subterráneas en muchos países en desarrollo es escasa, especialmente en Asia y África, donde los programas de vigilancia se han reducido drásticamente.

La mayoría de los países en desarrollo no vigilan adecuadamente la calidad de sus aguas, lo que plantea importantes problemas de salud pública. La información sobre el consumo, la contaminación y la extracción de agua a nivel mundial todavía es insuficiente. La mala calidad del agua y la escasez de suministros pueden tener un impacto negativo sobre el desarrollo económico, la salud pública y las condiciones de vida.

Los cambios en el paisaje, como el crecimiento urbano, la desaparición de los humedales, la deforestación, la construcción de carreteras y la minería a cielo abierto alteran el flujo natural del agua, provocan cambios en los ecosistemas y dificultan la gestión del agua. Además, dificultan la determinación de los impactos locales y regionales del cambio climático sobre los recursos hídricos, que ya es complicado de por sí dada la escasez de información.

En muchos países se observa ya desde hace varios años que existen suficientes herramientas y diagnósticos como para llevar a cabo la GIRH, sin embargo ésta no puede llevarse a cabo o bien solo se realiza en forma parcial. Para enfrentar los obstáculos se recurre, frecuentemente, a las grandes declaraciones de intención como son: alcanzar metas de desarrollo sustentable y sostenido, fomentar la participación y la democracia y alcanzar metas de gestión integrada de recursos hídricos; o bien se opta por soluciones como: privatizar servicios de agua potable y saneamiento, descentralizar acciones, fomentar la participación local, aplicar el principio de contaminador pagador, reformular las leyes y normas, crear capacidades, fiscalizar mejor las acciones y ejercer un sistema de vigilancia, registrar los usuarios y los derechos otorgados y, en general, contar con mejor información, y así sucesivamente. Sin embargo, muchas veces sólo se logra hacer una parte de esto y con resultados muy variados, localizados y de corta duración. Entre los obstáculos no superados de GIRH se pueden mencionar:

1. Escasa accesibilidad e influencia que tienen los gestores del agua sobre las políticas macro-económicas, sobre las priorizaciones en la asignación de recursos por parte de los estados, poca o nula participación en las decisiones políticas en la designación de funcionarios a cargo de temas de gestión del agua.
2. Las personas asentadas sobre una cuenca normalmente no reaccionan con suficiente ímpetu frente a situaciones conflictivas tanto de origen humano como natural, o a veces reaccionan, pero con mucho retardo, sobre todo cuando hay situaciones de contaminación. El fatalismo frente a desastres provocados por fenómenos naturales o algún daño causado por algún grupo de usuarios más

poderosos que contamina las fuentes o sobreexplota el agua subterránea no genera o retarda el emprendimiento de acciones para crear mecanismos para “gobernar” sobre el agua y las cuencas.

3. Desconocimiento o negación que tienen los actores más afectados para conducir sus legítimas quejas, reclamos o demandas originadas por conflictos por el uso del agua o desastres causados por fenómenos extremos. Los usuarios de menores posibilidades, usualmente aislados, renuncian a efectuar trámites interminables e inútiles para crear mecanismos de gobernabilidad o para utilizar los existentes que se encuentran fuera del alcance de sus posibilidades. Son los actores marginados de la gobernabilidad.
4. Carencia de estrategias coherentes con los medios para ponerlas en práctica. Es muy común que exista mucho voluntarismo en las declaraciones oficiales, inclusive en leyes que se aprueban con el fin de crear autoridades de cuencas, privatizar empresas de servicios de agua, transferir sistemas de riego y drenaje a los usuarios o descentralizar acciones hacia gobiernos regionales, pero no se crean los mecanismos necesarios para llevar a cabo las ideas.
5. Desconocimiento que tienen muchos usuarios de los derechos con relación a presentar reclamos por situaciones vinculadas al deterioro de la calidad del agua. Aceptan así, sin mayores quejas, que no se pueden bañar o pescar en un río porque hay un aviso que señala que el río está contaminado o que no pueden regar sus plantas por el mismo motivo.
6. Existencia repetida de una “gobernabilidad transitoria”. La gobernabilidad transitoria es la respuesta política frente a una situación extrema que provoca críticas en los periódicos o manifestaciones públicas. Se crean entonces “comisiones de emergencia” que dan la impresión de que se hace algo, comisiones que luego se diluyen. Una vez pasada la situación de emergencia hay un olvido generalizado de la temática.
7. Oposición cerrada de algunos usuarios importantes del agua con poder, o en una posición de privilegio, a “someterse” a un sistema de gobierno al cual temen con razón o por desconocimiento los grupos de poder, muchas veces transitorios en los gobiernos, pero que pueden modificar y aprobar leyes que dan dominios sobre derechos de agua a perpetuidad o que permiten vender derechos sin la debida regulación o lo que es más común, alterar la institucionalidad en forma drástica sin estudios adecuados.
8. Exceso de disponibilidad de recursos hídricos para absorber las demandas de agua tanto en cantidad como en calidad. Esta situación determina entonces que nadie solicite la implementación de políticas de GIRH, lo que genera relajación de todas las partes.
9. Comunicación de resultados de evaluaciones y foros de especialistas. En este punto se debe señalar que no siempre se comunican los resultados a los distintos actores involucrados en la GIRH. Otras veces las recomendaciones efectuadas por los expertos no llegan a los decisores y si lo hace, ¿llegan en términos comprensibles y claros?.

### 3.3. La gestión y sus herramientas

✓ *Desarrollo de la cultura del agua*

Se busca instalar nuevas conductas y actitudes en la sociedad en su relación con el agua, lo que permitirá una mejor comprensión de la complejidad de los temas hídricos y de su interdependencia con factores económicos, sociales y ambientales. Dicha tarea es una responsabilidad compartida entre las organizaciones que administran el agua y las instituciones educativas formales y no formales con dedicación al tema; teniendo como fin una participación más comprometida y mejor informada de todos los niveles de la sociedad en la gestión de los recursos hídricos.

✓ *Actualización legal y administrativa*

La gestión integrada de los recursos hídricos requiere de un marco legal que provea la estructura para el cumplimiento de las metas de desarrollo y la protección de las aguas. Ante dicha necesidad, las leyes y los mecanismos administrativos y regulatorios vigentes en materia de agua requieren de una continua actualización que permita avanzar hacia una unificación de criterios y normativas que eviten contradicciones y/o superposición de funciones y eliminen ambigüedades jurisdiccionales. Las normativas deben ser simples y ágiles de aplicar, deben reflejar los avances del conocimiento, deben enmarcarse en esquemas sociales y económicos modernos y deben estar comprometidas solidariamente con las generaciones futuras.

✓ *Monitoreo sistemático*

Conocer y evaluar el estado y la dinámica del recurso hídrico con precisión -en cantidad y calidad- constituye el trabajo básico de todo proceso de planeamiento y gestión, proveyendo además información esencial para controlar la eficiencia y sustentabilidad de los sistemas hídricos y del conjunto de las actividades sociales y económicas relacionadas con el agua. Es función del estado nacional asegurar la colección y disseminación de la información básica climática, meteorológica, cartográfica e hidrológica necesaria. Esto deberá complementarse y coordinarse con las mediciones que realizan los estados provinciales y los usuarios del agua, en función de sus necesidades, con la finalidad de disminuir la incertidumbre en el conocimiento del recurso a un nivel razonable.

✓ *Sistema integrado de información hídrica*

Es esencial contar con un sistema de información que provea los elementos necesarios para llevar adelante una gestión racional y eficiente del sector hídrico. Para ello debe contarse con un sistema de información integrada, con alcance nacional e internacional, fundado en una estructura adecuada de última tecnología que cubra todos los aspectos de cantidad y calidad del agua, incluyendo información relevante relacionada con la planificación, administración, concesión, operación, provisión de servicios, monitoreo y protección, regulación y control del sector hídrico. La integración de la información hídrica con otros sistemas de información de base favorecerá la toma de decisiones de los sectores público y privado y como instrumento de control de la gestión.

✓ *Optimización de sistemas hídricos*

Considerando que buena parte de la infraestructura hídrica existente ha sido diseñada y es operada como componentes independientes, es conveniente reevaluar su operación mediante técnicas de análisis de sistemas a los efectos de mejorar el rendimiento operativo de las obras y la rehabilitación de la infraestructura

ociosa. Se busca así nuevas y más eficientes formas de distribución del recurso, proporcionando la posibilidad de identificar potenciales conflictos por su uso y la búsqueda de alternativas de distribución con mayor aceptación social.

✓ *Formación de capacidades*

Es esencial mejorar las capacidades humanas a todos los niveles para alcanzar una acertada gestión del agua. Para ello es imperativo reforzar el desarrollo de capacidades en disciplinas relacionadas con el conocimiento básico, la planificación, la gestión y el control de los recursos hídricos. A ello se suman otras disciplinas relacionadas con la formulación de normas regulatorias y legislación de agua. Se busca así formar las capacidades que contribuyan a la formulación y evaluación integral de los proyectos hídricos, considerando sus diversos aspectos sociales, ambientales, técnicos, económicos, y financieros que estos generen. Al mismo tiempo, resulta esencial garantizar una alta calidad institucional con cuadros profesionales de carrera en todos sus niveles de modo de crear condiciones que permitan atraer y retener en las organizaciones públicas del sector hídrico personal con las capacidades mencionadas que lideren el proceso de cambio que se propicia.

✓ *Red de extensión y comunicación hídrica*

Se promueve la creación de una red de extensión y comunicación entre todos los actores vinculados al quehacer hídrico para la divulgación de información y experiencias del sector. Se busca así fomentar las mejores prácticas en todos los aspectos que hacen al uso y protección del recurso y eliminar las prácticas inadecuadas. Se considera a la red de extensión y comunicación hídrica como una herramienta efectiva para alcanzar el conocimiento y la necesaria toma de conciencia de los usuarios actuales del agua, como también de los nuevos usuarios y administradores que se sumen progresivamente a la gestión hídrica como resultado del proceso de descentralización.

### **3.4. Modelos matemáticos de gestión**

Ciertas aplicaciones de la ingeniería hidrológica pueden requerir análisis complejos que involucran variaciones temporales y/o espaciales de precipitación, abstracciones hidrológicas y escurrimiento. Típicamente, estos análisis encierran un gran número de cálculos y por ello pueden realizarse con una computadora digital. El uso de computadoras en todos los aspectos de la ingeniería hidrológica ha llevado a incrementar el énfasis en la modelación de cuencas. La modelación de cuencas comprende la integración de los procesos hidrológicos en un ente modelo, por ejemplo, un modelo de cuenca, con propósitos ya sea de análisis, diseño, escurrimiento a largo plazo, predicción de volumen, predicción o pronóstico de flujo en tiempo real.

Un modelo de cuenca (cuenca o cuenca de río) es un grupo de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular la conversión de la precipitación en escurrimiento. En principio, las técnicas de modelación de cuencas son aplicables a cuencas de cualquier tamaño, ya sean pequeñas (pocas hectáreas), de tamaño medio (cientos de kilómetros cuadrados) o grandes (miles de kilómetros cuadrados). En la práctica, sin embargo, las aplicaciones de la modelación son generalmente confinadas al análisis de cuencas para las cuales la descripción de variaciones espaciales temporales y/o variaciones espaciales de precipitación está garantizada. Usualmente este es el caso para cuencas de tamaño medio y grande.

Una aplicación típica de la modelación de cuencas consiste en lo siguiente: (1) selección del tipo de modelo, (2) formulación del modelo y construcción, (3) prueba del modelo, y (4) aplicación del modelo. Los modelos de

cuencas comprensivos incluyen todas las fases relevantes del ciclo hidrológico, y, como tales, están compuestos de una o más técnicas para cada fase.

Los modelos de cuenca pueden ser agrupados en dos categorías generales: (1) material y (2) formal.

Un modelo material es una representación física del prototipo, más simple en estructura pero con propiedades que reúnen las del prototipo. Los ejemplos de modelos de cuencas materiales son simuladores de lluvia y cuencas experimentales

Un modelo formal es una abstracción matemática de una situación idealizada que preserva las propiedades estructurales importantes del prototipo. Ya que los modelos formales son invariablemente matemáticos en naturaleza, es costumbre referirse a ellos como modelos matemáticos. Los modelos matemáticos que se usan con la ayuda de una computadora se denominan modelos computacionales.

Los modelos materiales de cuenca son caros y de aplicabilidad limitada. Por el contrario, los modelos formales están rápidamente disponibles, son altamente flexibles, y comparativamente económicos para utilizar. De allí que no resulte una sorpresa que los modelos formales (matemáticos) sean la herramienta preferida en la solución de los problemas del modelado de cuencas.

### **Tipos de modelos matemáticos de cuencas**

Un modelo matemático de cuenca consiste en varios componentes, cada uno describe cierta fase o fases del ciclo hidrológico. Un modelo matemático puede ser de tres tipos: (1) teórico, (2) conceptual, o (3) empírico.

Los modelos teóricos y empíricos son exactamente opuestos en significado, con modelos conceptuales que se ubican entre ellos. En suma, un modelo matemático puede ser determinístico o probabilístico, lineal o no lineal, invariable en el tiempo o variable en el tiempo, global o distribuido, continuo o discreto, analítico o numérico, evento guiado o proceso continuo.

En la práctica del modelado de cuenca, cuatro tipos generales de modelos matemáticos se reconocen comúnmente: (1) determinísticos, (2) probabilísticos, (3) conceptuales, y (4) paramétricos. Los modelos determinísticos son formulados siguiendo fórmulas de la física y/o procesos químicos descritos por ecuaciones diferenciales. Un modelo determinístico es formulado en términos de un grupo de variables y parámetros y ecuaciones relacionadas a ellos. Un modelo determinístico implica una relación causa-efecto entre los valores de los parámetros elegidos y los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones. Idealmente, un modelo determinístico debería proveer el mejor detalle en la simulación de los procesos físicos o químicos. En la práctica, sin embargo, la aplicación de modelos determinísticos está asociada frecuentemente a la incapacidad del modelo o del modelador de resolver la variabilidad temporal y espacial del fenómeno natural en incrementos suficientemente pequeños.

Los modelos probabilísticos son exactamente lo opuesto en significado a los modelos determinísticos. Un modelo probabilístico se formula siguiendo las leyes del azar o probabilidad. Los modelos probabilísticos son de dos tipo: (1) estadísticos, y (2) estocásticos. Los modelos estadísticos tratan con ejemplos observados, mientras que los modelos estocásticos con la estructura del azar observada en ciertas series hidrológicas temporales - por ejemplo, flujos diarios de corriente en cuencas de tamaño medio. El desarrollo de modelos estadísticos requieren invariablemente el uso de datos; los modelos estocásticos enfatizan sobre las características estocásticas de los procesos hidrológicos.

Los modelos conceptuales son representaciones simplificadas de los procesos físicos, usualmente recaen sobre descripciones matemáticas (ya sean en forma algebraica o por ecuaciones diferenciales ordinarias), que simulan procesos complejos basándose en unas pocas claves de parámetros conceptuales. El uso extensivo de los modelos conceptuales en la ingeniería hidrológica refleja la complejidad inherente del fenómeno y la incapacidad práctica de considerar los componentes determinísticos en todas las instancias. De allí que los modelos conceptuales son sustitutos útiles y prácticos para los modelos determinísticos.

Los modelos paramétricos (esto es: empírico, o caja negra) son los más simples de todas las propuestas de modelado. Como su nombre indica, el énfasis de los modelos paramétricos está en los parámetros empíricos en los que está basada la solución. Usualmente, un modelo paramétrico consiste en una ecuación (o ecuaciones) algebraica que contiene uno o más parámetros a ser determinados por el análisis de datos u otro medio empírico. La aplicabilidad de los modelos paramétricos está restringida al rango de datos utilizados en la determinación de los valores de los parámetros. Los modelos paramétricos son útiles cuando los modelos conceptuales, determinísticos o probabilísticos no son prácticos o son demasiado caros.

Los ejemplos de tipos de modelos matemáticos de cuencas y los componentes del modelo pueden hallarse en una variedad de aplicaciones hidrológicas. Por ejemplo, la técnica del ruteo de onda cinemática, es determinística, fundada en principios básicos de conservación de masa y momentum. Una vez que los parámetros de la curva de valor cinemático han sido determinados, las soluciones analíticas de las ondas cinemáticas llevan a soluciones predecibles. Las soluciones numéricas, sin embargo, están sujetas a la difusión y dispersión causadas por la naturaleza finita de la malla. De allí que, evaluaciones cuidadosas son necesarias para asegurarse que todos los procesos relevantes estén siendo cuantificados apropiadamente.

El método de Gumbel para el análisis de frecuencia de inundación (creciente) es un ejemplo típico del uso de los métodos probabilísticos en hidrología. El método de Gumbel es estadístico, ya que los parámetros de la distribución de la frecuencia son evaluados a partir de los datos medidos. Los métodos estocásticos (por ejemplo la simulación Monte Carlo) ha sido utilizada primeramente en la generación sintética de series hidrológicas temporales, tales como flujos diarios de corriente de cuencas de tamaño medio, las cuales muestran componentes sustanciales del azar.

La cascada de reservorios lineales es un ejemplo típico de modelo conceptual. En este caso, los procesos físicos de la concentración del escurrimiento y la difusión del mismo están siendo simulados en el medio por la difusión inherente en la solución matemática de un reservorio lineal. Dos o más reservorios en serie producen suficiente difusión de modo que la traslación (concentración del escurrimiento) y el almacenaje (difusión del escurrimiento) son simuladas efectivamente. Como en cualquier modelo conceptual, los datos de lluvia-escurrimiento medidos son necesarios para determinar los valores apropiados de los parámetros del modelo.

El análisis regional es un ejemplo típico de proyecto paramétrico para el modelado de cuencas hidrológicas. En este caso, las técnicas de regresión estadística son utilizadas para desarrollar ecuaciones predictivas que tengan aplicabilidad regional. Los parámetros de la ecuación de regresión tienen significancia regional, por ello, la extrapolación más allá de la región de definición no está garantizada.

### **Modelos lineales versus modelos no lineales**

La elección entre modelos lineales y no lineales tiene implicaciones prácticas. En la naturaleza, los procesos físicos son generalmente no lineales, en el modelado, sin embargo, los modelos lineales están sustituidos frecuentemente por procesos no lineales en interés de la propiedad o aptitud matemática. La simplicidad de

los modelos lineales es una ventaja definida, aunque se logra a costo de la pérdida de detalle. Los modelos no lineales son más complejos pero generalmente mejores para proveer detalles en la simulación de los procesos físicos.

Un modelo lineal es formulado en términos de ecuaciones lineales y procesos, por el contrario, un modelo no lineal está descrito por ecuaciones y procesos no lineales. Un ejemplo típico de un modelo lineal es el clásico hidrograma unitario. Ejemplos de ecuaciones no lineales utilizadas para modelar los procesos hidrológicos hay muchos, por ejemplo, las técnicas de regresión no lineal utilizadas en el análisis regional.

La cascada de reservorios lineales es otro ejemplo del uso de modelos lineales en la práctica del modelado hidrológico. Ya que el modelo es conceptual, sus parámetros deben ser determinados por calibración (utilizando datos de lluvia-escorrentamiento) antes de intentar utilizarlo en un modo predictivo. Los parámetros son constantes con lo cual el modelo no garantiza la extrapolación en regiones que no se usaron para la calibración. En la práctica, es necesario calibrar el modelo conceptual para cada uno de los niveles de flujo (esto es: bajo, medio, alto) y usar los grupos de parámetros calibrados en concordancia.

Los modelos determinísticos pueden ser complejos en sí mismos. Las ecuaciones diferenciales parciales pueden ser lineales o casi lineales, dependiendo de que los coeficientes de varios términos se asuman como constantes o variables. Los modelos lineales tienen parámetros constantes, por el contrario, los modelos casi lineales tienen parámetros variables. Donde la simplicidad está en riesgo, se justifica el uso de parámetros constantes- por ejemplo, el parámetro constante del método de propagación de Muskingum-Cunge. Para mayor detalle en la simulación de un amplio rango de flujos, un modelo de parámetro variable es la elección lógica, esto es: el parámetro variable del método de propagación Muskingum- Cunge.

### **Modelos de tiempo invariable versus modelos de tiempo variable**

En los modelos de tiempo invariable, el parámetro o parámetros permanecen constantes en el tiempo. Por el contrario, en los modelos de tiempo variable, los parámetros varían. Un ejemplo típico es aquel del modelo conceptual de un reservorio lineal. Un modelo de tiempo invariable es  $S = K \cdot O$ ; mientras que un modelo de tiempo variable es  $S = K(t) \cdot O$ , en el cual la constante  $K$  de almacenaje del reservorio es una función de tiempo. En la práctica, la mayoría de las aplicaciones han sido restringidas a modelos de tiempo invariable.

### **Modelos globales versus modelos distribuidos**

El término modelo de parámetro global -en forma corta modelos globales- es utilizado para referirse a un modelo en cual los parámetros no varían espacialmente dentro de la cuenca. De allí que la respuesta de la cuenca es evaluada solo a la salida, sin tener en cuenta explícitamente la respuesta de las subcuencas individuales. Un ejemplo típico de un modelo de parámetro global es el hidrograma unitario.

El término modelo de parámetro distribuido -en forma corta, modelo distribuido- es utilizado para referirse a un modelo en el cual se permite que los parámetros varíen espacialmente dentro de la cuenca. Esto permite el cálculo no sólo de la respuesta de toda la cuenca sino también la respuesta de las subcuencas individuales. El mayor detalle con el que pueden hacerse las simulaciones en un modelo distribuido rinde mejor computacionalmente que un modelo global. Esto permite el modelado de características especiales tales como abstracciones de lluvia e hidrológicas que varían espacialmente. Sin embargo, para que los resultados del modelado distribuido sean significativos, la calidad y la cantidad de datos disponibles deben ser proporcionadas con gran nivel de detalle.

Los conceptos del modelado global y del distribuido, aunque opuestos en significado, no son necesariamente exclusivos. Los modelos de cuenca globales pueden ser utilizados como componentes de modelos distribuidos de cuencas. En una aplicación típica, un modelo global (esto es: el hidrograma unitario) es utilizado para generación de hidrogramas de subcuencas individuales. Subsecuentemente, estos hidrogramas son combinados y guiados a través de una red de canales de corriente y reservorios. Ya que los parámetros varían de subcuenca a subcuenca y los hidrogramas pueden ser evaluados en cualquier locación deseada dentro de la red de canal, el modelo de la red retiene esencialmente una estructura distribuida.

### **Modelos continuos versus modelos discretos**

Los modelos continuos y los discretos son opuestos en significado. Matemáticamente, una función continua es la que posee derivada en cualquier punto de su dominio. Por el contrario, una función discreta carece de esta propiedad. Ejemplos del uso de funciones discretas y continuas son comunes en la ingeniería hidrológica. Por ejemplo, un hidrograma de corriente es continuo, pero un hidrograma de lluvia es discreto. El modelado, el término continuo es utilizado para referirse a modelos cuyas soluciones pueden ser obtenidas en cualquier punto. En los modelos discretos, sin embargo, las soluciones pueden ser obtenidas solo en ciertos puntos predeterminados.

Un ejemplo típico de la diferencia entre modelos continuos y discretos es proporcionado por la teoría del reservorio. La ecuación diferencial de almacenaje es una ecuación diferencial ordinaria, y de allí que una solución continua puede obtenerse por medios analíticos. La misma ecuación, sin embargo, puede ser discernible en el plano  $xt$  y resuelta por un método tal como la indicación de almacenaje usando procedimientos numéricos. En general, las funciones descritas analíticamente llevan a un modelado continuo. Por el contrario, las funciones de forma arbitraria son mejor manejadas con modelos discretos.

### **Modelos analíticos versus modelos numéricos**

La diferencia entre modelos analíticos y modelos numéricos es casi similar a la que existe entre modelos discretos y modelos continuos. Las funciones y modelos continuos pueden usualmente ser resueltos por medios analíticos, las funciones discretas y los modelos llevan a solucionarlos utilizando procedimientos numéricos. Una solución analítica utiliza las herramientas de la matemática clásica- por ejemplo, la teoría de la perturbación, transformaciones de Laplace, y así sucesivamente. Una solución numérica utiliza diferencias finitas, elementos finitos, el método de las características, o cualquier otro método basado en el discernimiento del dominio de la solución. En general, las soluciones analíticas pueden ser obtenidas solo por problemas altamente simplificados, particularmente aquellos para los cuales las condiciones iniciales y de borde pueden ser expresadas en forma analítica. Los modelos numéricos se adaptan mejor para las aplicaciones reales, para las cuales las condiciones iniciales y de borde pueden ser especificadas arbitrariamente.

Los modelos numéricos, esquemas, y algoritmos son frecuentemente utilizados como parte integral de modelos computacionales que simulan todas las fases relevantes del ciclo hidrológico. Dado el amplio uso de las computadoras, parece cierto que los modelos numéricos continuarán jugando un rol importante en la práctica del modelado de cuencas.

### **Modelos de eventos aislados versus modelos de procesos continuos**

Los modelos de cuenca pueden ser (1) de eventos aislados o (2) proceso continuo. Como sus nombres lo implican, los modelos de eventos aislados son de corto plazo, diseñados para simular eventos individuales de

lluvia-escorrimento. Su énfasis está en la filtración y en el escurrimiento de superficie, su objetivo es la evaluación del escurrimiento directo. Los modelos de evento son aplicables para el cálculo de flujo de inundación, particularmente en los casos donde el escurrimiento directo es el mayor contribuyente al escurrimiento total. Típicamente, los modelos de evento no tienen en cuenta la recuperación de humedad entre eventos de tormenta y, por ello, no se ajustan para la simulación de flujos de tiempo seco (esto es: diariamente).

Distinto de los modelos de evento, los modelos de procesos continuos toman en cuenta todos los componentes del escurrimiento, incluyendo el escurrimiento directo (flujo de superficie) y el escurrimiento indirecto (flujo subterráneo e interflujo). Los modelos de proceso continuo se focalizan en la evapotranspiración y en otras abstracciones hidrológicas de largo plazo responsables del valor de recuperación de humedad durante los períodos en que no hay precipitación. El objetivo de los modelos de proceso continuo es tener en cuenta el balance de humedad a largo plazo de toda la cuenca. Los modelos de proceso continuo se adaptan a la simulación de flujos diarios, mensuales o estacionales, usualmente para el volumen a largo plazo del escurrimiento y estimaciones de la producción de agua.

### COMPONENTES DEL MODELO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Los componentes del modelo de cuenca son: (1) precipitación, (2) abstracción hidrológica, y (3) escurrimiento. Usualmente la precipitación es el dato de entrada al modelo, las abstracciones hidrológicas son determinadas por las propiedades de la cuenca, y el escurrimiento es la salida del modelo.

La **precipitación**, ya sea como lluvia o como nieve, es el proceso que guía el modelado de una cuenca. El escurrimiento de superficie es una consecuencia directa del exceso de lluvia y-o del deshielo de la nieve. La lluvia puede ser descrita en los siguientes términos: (1) intensidad, (2) duración, (3) profundidad, (4) frecuencia, (5) distribución temporal, (6) distribución espacial, y (7) corrección de área.

Las **abstracciones hidrológicas** son los procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva. Eventualmente, la precipitación efectiva va a constituir el escurrimiento de superficie. Hay varios procesos por los cuales la precipitación es abstraída por la cuenca. Aquellos que interesan a la ingeniería hidrológica son los siguientes: (1) interceptación, (2) infiltración, (3) almacenaje de superficie, (4) evaporación y (5) evapotranspiración.

Se reconocen dos modos diferentes de **escurrimiento** con propósitos de modelación: (1) escurrimiento en la cuenca y (2) escurrimiento en el canal de corriente. El escurrimiento de cuenca tiene características tridimensionales, pero eventualmente este tipo de escurrimiento se concentra a la salida de la cuenca. Después de abandonar la cuenca el escurrimiento entra la red del canal donde se vuelve un flujo corriente del canal. A diferencia del escurrimiento de cuenca, la marcada orientación longitudinal del flujo de la corriente del canal generalmente justifica asumirlo unidimensional.

En la práctica, el escurrimiento de cuenca se modela usando ya sea una aproximación distribuida o concentrada. La concentrada está basada en la convolución del hidrograma unitario con un hietograma efectivo de tormenta. La aproximación distribuida está basada en el flujo terrestre que utiliza técnicas de ondas de difusión o cinemáticas. Ambas formas tienen ventajas y desventajas. El hidrograma unitario es relativamente fácil de implementar, a pesar de que toma en cuenta explícitamente los detalles físicos del interior de la cuenca. El ruteo de onda cinemática es teóricamente más aplicable que el hidrograma unitario, y a diferencia de este último, puede proveer información detallada del escurrimiento de superficie en toda la

cuenca. Sin embargo, ruteo de onda cinemática es generalmente más complejo, difícil de implementar y requiere cantidades sustanciales de datos físicos para que su operación resulte exitosa.

Una aproximación alternativa para la modelación del escurrimiento es el concepto del área de fuente variable. Esta aproximación es particularmente aplicable a la hidrología de montaña, por ejemplo, el estudio del escurrimiento desde las tierras altas y - o cuencas forestales. Este concepto de modelado se basa en asumir que el patrón preferido de la lluvia es por infiltración a través de suelo forestal sin cambios, migración colina abajo, y mantenimiento de niveles de saturación o cercanos a la saturación en los declives bajos. A medida que la lluvia continúa, la zona de flujo de la subsuperficie saturada se expande, con las capas de suelo saturadas contribuyendo con cantidades sustanciales de flujo subsuperficial para el escurrimiento. El grado en el cual la saturación y la subsecuente expansión lateral ocurren es una función de las condiciones de humedad antecedentes, intensidad de lluvia y duración. El modelado del área de fuente variable difiere del modelado superficial en que en el flujo subsuperficial la pendiente inferior es considerada como la primera instancia para el escurrimiento.

En el modelado de cuencas, la salida del escurrimiento de la cuenca es el flujo de entrada al canal. El cálculo del flujo del canal se lleva a cabo armando camino a través de la red del canal. Se hace una distinción entre subcuencas de tierras altas, que contribuyen al flujo de entrada a la red de corriente aguas arriba, y alcanza las subcuencas, que contribuyen al flujo de entrada local a las varias distancias constituyendo la red de la corriente. Cuando se usan modelos globales, el escurrimiento de las subcuencas es concentrado en el punto corriente abajo. Por el contrario, con los modelos distribuidos, el escurrimiento de las subcuencas puede ser distribuido lateralmente a lo largo de la extensión. El camino o ruta a través de la corriente se lleva a cabo por técnicas de tránsito hidráulico o hidrológico. Las técnicas hidrológicas se solucionan directamente para valores de descarga, si se lo desea los estados pueden ser determinados indirectamente a través del uso de una curva de valor apropiada. Las técnicas hidráulicas de ruteo de río generalmente se resuelven para descargas y estados simultáneamente, aunque con un incremento sustancial en complejidad comparada con las técnicas hidrológicas.

Los modelos distribuidos requieren una descripción topológica de la red de la corriente. Un sistema lógico de cuenca y numeración de tramos se necesita para una combinación hidrográfica apropiada en las confluencias de la red.

La construcción de un modelo de cuenca comienza con la selección de los componentes del modelo. Una vez que éstos han sido elegidos, se unen como partes del todo del modelo, siguiendo una secuencia lógica que recuerda a la del proceso natural. La lluvia y la nieve son consideradas primero, seguidas por las abstracciones hidrológicas, la generación del hidrograma de la subcuenca, reservorio y ruteo de la corriente en el canal, y combinación hidrográfica en las confluencias de la red.

La resolución de la salida del modelo debe ser solicitada al inicio de la construcción y aplicación del modelo. La resolución se refiere a la capacidad del modelo de representar con seguridad ciertas escalas de problemas. La resolución está relacionada a la escala de la cuenca y el objetivo del modelado. La modelación del escurrimiento de cuencas pequeñas requiere una resolución clara, con pasos de tiempo típicos en el orden de los minutos y correspondiente a subcuencas pequeñas y tramos cortos de canal. Por el otro lado, la modelación del escurrimiento de cuencas de tamaño medio requiere una resolución promedio, con pasos de tiempo típicos en el orden de horas y correspondientes a subcuencas mayores y tramos de canal más largos. Más aún, la modelación del escurrimiento de cuencas grandes (esto es, cuencas de ríos) puede requerir una resolución

amplia, con pasos de tiempo del orden de uno o más días y tamaño de subcuenca y longitudes de tramos del canal concordantes.

El objetivo del modelado puede tener influencia en la elección de la resolución del modelo. Los modelos de evento son de término corto por definición y, de allí que, estén sujetos a cambios rápidos en las variables del modelo. Los modelos de evento requieren una resolución fina, usualmente con pasos de tiempo que van desde varios minutos a unos pocas horas, dependiendo del tamaño de la cuenca. Los modelos de proceso continuo están diseñados para procesos de largo plazo, con fluctuaciones menores en las variables de modelo. De allí que en los modelos de proceso continuo es posible una resolución mayor.

### **3.5. La información hidrológica como base para la toma de decisiones**

La información hidrológica es la base para la planificación hidrológica y la gestión de los recursos hídricos. Los datos obtenidos en las redes de medida y la gestión de la información asociada sirven de base en la toma de decisiones en materia de la planificación hidrológica y gestión del recurso, así como en la gestión de riesgos (adaptación/mitigación) del cambio climático y prevención y gestión de fenómenos extremos (inundaciones y sequías).

El empleo de datos fiables, validados y oficiales, permite una mejora en la gestión del recurso y facilita la toma de decisiones. Así mismo, permite suministrar información a los usuarios del recurso hídrico (comunidades de usuarios de agua, regantes y la ciudadanía en general).

En España, por ejemplo, son los organismos de cuenca los que tienen a su cargo la operación y mantenimiento de estas redes de medida y el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la Dirección General del Agua, es el responsable del archivo general y la difusión de los datos obtenidos. En este país, el Anuario de Aforos recoge toda esta información y tiene como objetivo la publicación de datos hidrológicos suministrados por la Red Oficial de Estaciones de Aforo (incluyendo las estaciones de medida de tiempo real) y que sirven de base para la planificación y gestión de los recursos hídricos. Inicialmente, el anuario de aforos era una publicación de periodicidad anual, estando actualmente también integrado en un Sistema de Información Geográfica que se puede consultar vía web, en tiempo real.

La información básica que debería tener una red de monitoreo, es:

- ✓ Estaciones de aforo en ríos: Datos medios diarios de nivel y caudal, y datos máximos instantáneos del mes.
- ✓ Embalses: datos diarios de reserva o volumen embalsado, referidos a la capacidad total del embalse, referido a todas las salidas del embalse.
- ✓ Estaciones de aforo en conducción: datos medios diarios de nivel y caudal, datos máximos instantáneos en el mes.
- ✓ Estaciones evaporimétricas: Datos mensuales de evaporación y otras magnitudes meteorológicas relacionadas con ese fenómeno atmosférico (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación).
- ✓ Niveles piezométricos de pozos y caudales.

**MÓDULO 4.** Tendencias actuales para la gestión y planificación de los recursos hídricos. Conceptos actuales de Desarrollo Sostenible en la planificación. Sistema Soporte de Decisión. Sistemas de información geográfica en la gestión. Sistemas automáticos de información hidrológica.

---

#### **4. TENDENCIAS ACTUALES PARA LA GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

Muchos países de América Latina y el Caribe se encuentran en proceso de elaboración de nuevas leyes de aguas o de modificación de las existentes. Uno de los temas centrales, y que ha sido fuente de importantes controversias en los debates que se están realizando para avanzar en este proceso de reformas, es el diseño institucional del sistema administrativo de gestión del agua; es decir, de la estructura administrativa que debe tener el Estado para la aplicación de la legislación hídrica vigente, la evaluación de los recursos hídricos, la formulación de políticas públicas de estos recursos, la asignación del agua, el control de la contaminación hídrica, la coordinación de uso múltiple del agua, la resolución de conflictos por el uso del recurso y la fiscalización de los aprovechamientos.

Invariablemente, los sucesivos diagnósticos de los sistemas administrativos de gestión del agua en los países de la región concluyen que los mismos se caracterizan principalmente por un enfoque esencialmente sectorial (INELA, 1976; CEPAL, 1985 y 1994). En la práctica, esto significa que históricamente las principales funciones de gestión se han asignado, y todavía se asignan, a instituciones centralizadas con responsabilidades funcionales por usos específicos de agua (principalmente, el riego, la generación hidroeléctrica y la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento): “a nivel regional, hay pocos ejemplos genuinos, si es que existen, de instituciones que poseen una perspectiva orientada a fines múltiples o un interés en el recurso mismo, y no en el uso que puede prestar” (CEPAL, 1989). El accionar de estas entidades se restringe normalmente a actividades exclusivamente limitadas al aprovechamiento del agua para un uso sectorial específico, por lo que suelen tener limitada visión de la problemática de los recursos hídricos en su totalidad e integridad: “El gran ausente es el esquema institucional que permita una gestión integral de los recursos hídricos” (CEPAL, 1998a).

El riego, con un 75% del total de extracciones de agua (WRI, 2003), es, por lejos, el principal sector usuario del recurso en América Latina y el Caribe. Por consiguiente, y considerando que en las estrategias de desarrollo de muchos países se atribuye primordial importancia al riego para aumentar la producción de alimentos y materias primas industriales, tanto para consumo interno como para exportación, no es sorprendente que en muchos casos este sector haya dominado (como en Ecuador y México) y todavía domine (como en algunas provincias de Argentina, en Perú y la República Dominicana) la gestión del agua. En otros países, la institución predominante históricamente ha sido la encargada de la producción hidroeléctrica (como en Brasil y Costa Rica) o de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento (como en varios países del Caribe). Cabe agregar que, dentro de este espectro de aprovechamientos sectoriales, la generación hidroenergética es la que en general se encuentra sistemáticamente más desarrollada y modernizada en los países de la región (CEPAL, 1989 y 1994). Le siguen en importancia, en cuanto a nivel de avance, los servicios de agua potable y saneamiento, cuyo perfil es muy heterogéneo en América Latina y el Caribe. Por último, las actividades de riego son las que normalmente presentan peores condiciones en sus diversos aspectos.

El enfoque sectorial tal vez fuera una respuesta institucional apropiada en aquella época distante en la que los problemas de gestión eran más simples, el nivel de explotación de los recursos hídricos reducido, las interdependencias entre diferentes usos y usuarios poco relevantes, el énfasis estaba en las medidas encaminadas a aumentar la disponibilidad de la oferta del agua para diferentes aprovechamientos sectoriales y se contaba con un significativo caudal no utilizado o excedentario del recurso. Sin embargo, en condiciones

actuales de creciente escasez, conflictos y externalidades generalizadas, de diverso tipo y en aumento, competencia entre usuarios cada vez más drástica y despiadada, y como consecuencia, creciente interés en gestión de la demanda, principalmente a través de la aplicación de instrumentos económicos y la reasignación del agua que ya está en uso, este enfoque está “llevando a conflictos crecientes, uso ineficiente y deterioro” del recurso (Solanes y Getches, 1998). Entre los problemas principales asociados con el enfoque sectorial se destacan los siguientes:

1. Falta de objetividad y de imparcialidad, y a menudo prescindencia de los criterios técnicos, en el proceso de toma de decisiones asociadas a los recursos hídricos, debido principalmente a la defensa enconada de estrechos intereses burocráticos sectoriales. El problema es que un sector usuario no puede gestionar el recurso entre usos competitivos de una manera neutra y objetiva, ya que sería juez y parte, lo que además disminuye su autoridad frente a otros actores (CEPAL, 1998b): “Si estas funciones son conferidas a instituciones con responsabilidades funcionales en usos específicos de agua o actividades económicas discretas, la gestión de agua podría no ser objetiva. En estos casos, cada grupo interesado puede tender a apoyar proyectos o asignaciones de agua de acuerdo a intereses funcionales, sin consideración a la fuente de suministro o la seguridad de las inversiones o a la calidad económica de los proyectos” (Peña y Solanes, 2003). Además, el enfoque sectorial atenta obviamente contra la posibilidad de ejecutar acciones tendientes al uso múltiple del agua, y ocasiona un sesgo en el diseño de las obras hidráulicas que se diseñan con una sola finalidad sectorial específica y no para usos múltiples, desaprovechando de este modo las economías de alcance o integración.
2. Las funciones de gestión tienden a separarse de una manera que no responde a las características físicas del recurso y a su uso óptimo, lo que dificulta tener una visión integrada del mismo, produce vacíos de gestión y causa además duplicación de actividades, superposición de responsabilidades y dispersión de recursos entre múltiples entidades que normalmente tienen poca coordinación entre sí. Ejemplos típicos de estas situaciones son la separación de la gestión de las aguas superficiales del manejo de las aguas subterráneas, de la asignación del agua del control de la contaminación hídrica, del manejo de la oferta de la gestión de la demanda, o de la gestión por regiones administrativas, tramos de ríos, por sectores usuarios o por sucesivas porciones del ciclo hidrológico: “las administraciones públicas de América Latina enfocan separadamente los distintos usos funcionales y los problemas derivados de su calidad, ubicación, exceso o carencia de agua” (Valls, 1975). En respuesta a estos problemas, la solución que se desarrolló en muchos casos fue la de crear entidades colegiadas o mecanismos de coordinación integrados por representantes de los organismos sectoriales a efectos de que conciliaran sus intereses y gestionaran el recurso (Solanes, 1998). Sin embargo, respuestas de este tipo no han sido capaces de superar las intrínsecas limitaciones del enfoque sectorial (Solanes y Getches, 1998), por lo que todavía la “mayoría de los países carecen de antecedentes rigurosos en cuanto al manejo integral” (CEPAL, 1996).

En vista de estos antecedentes no resulta sorprendente que ya desde hace varias décadas, en “numerosos casos las organizaciones administrativas han quedado obsoletas porque las mismas fueron originalmente diseñadas para el manejo del recurso en función del uso del mismo (generalmente único). En consecuencia, esos organismos no son aptos para atender las exigencias de los requerimientos derivados de nuevas situaciones” (INELA, 1976). De aquí el interés de la mayoría de los países por adecuar la organización administrativa del sector hídrico en función del enfoque de gestión integrada del agua. Aunque algunos pocos países han realizado verdaderos logros en relación a la modernización de sus aparatos administrativos, en muchísimos casos los debates, que aún persisten, llevan una o más décadas, sin todavía haber alcanzado un consenso social acerca de la materia.

#### **4.1. Conceptos actuales de desarrollo sostenible en la planificación**

El desarrollo sustentable no se refiere a una meta tangible ni cuantificable a ser alcanzada en determinado plazo y momento. Se refiere más bien a la posibilidad de mantener un equilibrio entre factores que implican un cierto nivel de desarrollo del ser humano, nivel que es siempre transitorio, en evolución y, al menos en teoría, debería ser siempre conducente a mejorar la calidad de vida de los seres humanos. El llamado desarrollo sustentable es, en consecuencia, la resultante de un conjunto de decisiones y procesos que deben llevar a cabo generaciones de seres humanos, dentro de condiciones siempre cambiantes, con información usualmente insuficiente, sujetas a incertidumbres y con metas poco compartidas por una sociedad y personas en general no muy solidarias. Sólo si el desarrollo sustentable se mantiene en el tiempo se alcanza la sostenibilidad. Cabe resaltar que la sociedad se ha organizado para conducir procesos de gestión a nivel de territorios delimitados para alcanzar sobre todo metas de crecimiento económico y a veces metas sociales pero muy escasamente para manejar territorios delimitados por razones naturales, como es el caso de la gestión del agua a nivel de cuenca. Esto implica que sólo existen algunas bases de gobernabilidad para alcanzar en forma coordinada metas económicas, sociales y ambientales en los territorios actualmente delimitados por razones político—administrativos (límites distritales, provinciales, estatales, regionales o de países), y no para hacerlo a nivel de cuenca u otros territorios delimitados por razones naturales (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

El concepto de desarrollo sustentable y sostenible está además vinculado a categorías o escalas de calidad de vida y a la interacción entre habitantes de uno o más territorios que intercambian recursos o migran de un lugar a otro. El desarrollo sustentable está estrechamente asociado a las demandas que exigen cada cultura o estilo de vida, a la globalización de los procesos económicos, sociales y ambientales y a la capacidad negociadora entre regiones o países. El mismo tipo de consumo que se extiende a nivel global ejerce, cada vez más, influencias en el medio social y ambiental de culturas antes muy diferentes que ahora pugnan por imitar lo que consideran más avanzado. Esto se refleja ampliamente en los incrementos de consumo, en cantidad y variedad, de productos por habitante.

En resumen, el llamado desarrollo sustentable es la resultante de un conjunto de decisiones y procesos que deben llevarse a cabo por generaciones de seres humanos para su propio bienestar, dentro de condiciones de vida siempre cambiantes y vinculados a intercambios entre territorios. Estas condiciones están dadas por el sistema holístico que conforma el universo dentro del cual el ser humano es una pequeña parte. Por razones de sectorialización, especialización y políticas, las decisiones sobre este sistema complejo se reducen usualmente a tratar separadamente los aspectos económicos, ambientales y sociales y a referirlo a territorios políticos administrativos con el fin de tener un área “gobernable”. Esta forma fragmentada en que se toman las decisiones, atenta en contra de la adecuada gestión de los ecosistemas y recursos naturales como el agua (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

#### **4.2. Sistema soporte de decisión en la planificación y gestión**

La utilización racional del agua implica una gestión eficiente, integral y sostenible del recurso. Los sistemas de recursos hídricos y las soluciones para aliviar sus problemas son cada vez más complejos. Por consiguiente, a efectos de analizar los sistemas de forma integrada y de abordar incertidumbres clásicas relacionadas con los usos, demandas o recursos, así como nuevos temas tales como impactos de posibles cambios climáticos, será necesario utilizar herramientas tecnológicamente avanzadas. El desfase existente actualmente entre el estado del arte del análisis de sistemas de recursos hidráulicos y la práctica cotidiana de la toma de decisiones en el mundo real puede y debe reducirse.

La factibilidad y realidad de este proceso puede realizarse utilizando un Sistema Soporte de Decisión (SSD) para recursos hídricos.

En los últimos años, se han experimentado muchos avances en el mundo de los ordenadores que permiten el desarrollo de Sistemas Soportes de Decisión (SSD) mucho más amigables para el usuario. Entre otras cosas, esto significa:

- ✓ Unas capacidades gráficas, velocidades de cálculo, capacidades de memoria central, así como medios de almacenamiento muy mejoradas, y a unos precios relativamente bajos.
- ✓ Mejores y más poderosos desarrollos de software básico comercial, como, por ejemplo, compiladores, sistemas de información geográficos (SIG), conchas de sistemas expertos, etc.

### **Utilidad de la aplicación de Sistemas Soportes de Decisión**

En un entorno hidráulico, caracterizado por la escasez de recursos y la complejidad de su funcionamiento, incluyendo una fuerte relación entre aguas superficiales y subterráneas, la única forma de evaluar y diseñar estrategias de planificación y de gestión que resuelvan los problemas existentes es mediante la aplicación de modelos de simulación y optimización. Las razones en que se basa esta afirmación son varias.

En primer lugar, y al margen de sus resultados prácticos concretos, la formulación de modelos es un excelente ejercicio de comprensión de la realidad. En efecto, debe descomponerse la globalidad del problema en partes simples, cuyo comportamiento e interrelaciones debe ser dilucidado y formulado en forma analítica. Esto supone un esfuerzo de inteligibilidad que, además de mostrar nuestro conocimiento de las cosas, muestra también nuestra ignorancia de las mismas, y las deficiencias de nuestra comprensión de su funcionamiento.

Por otra parte, la ya comentada existencia de distintas fuentes de recursos con gran interconexión entre las mismas (zonas de demanda atendidas por aguas superficiales y subterráneas que pueden proceder de diferentes embalses y pozos, y cuyos retornos van a parar a otra unidad de demanda), plantea una cuestión fundamental para la aproximación al análisis de la cuenca: no es posible, en general, la consideración de una demanda atendida por una fuente de recurso de forma aislada y separada del resto del sistema. Entre las implicaciones prácticas que esto origina se encuentra la imposibilidad de aplicar el análisis clásico de regulación de un embalse que atiende a una demanda, con objeto de determinar su garantía de servicio. Dado un embalse, sus leyes de entrada y salida y sus reglas de explotación, la determinación de la garantía de servicio, una vez definida esta, es trivial y "univariada". En nuestro caso lo realmente existente es un sistema altamente redundante y conexo que requiere definiciones y especificaciones de carácter "multivariado", no pudiendo, en general, darse cifras de regulación por cada embalse concreto, sino por la globalidad del sistema para una política general de explotación dada. Los modelos de gestión parecen las más adecuadas herramientas, si no las únicas, para manejar esta complejidad.

La interacción entre las aguas superficiales y subterráneas es obvia: un considerable porcentaje de los recursos drenados en cabecera, y que alimenta a los principales embalses tiene origen subterráneo. Las explotaciones de acuíferos, generalmente drenado en manantiales sobre ramblas y afluentes del curso medio del río, afectan de modo directo a estos afluentes, secando sus fuentes. Los acuíferos en contacto con el cauce principal, presentan interconexión hidráulica con el río, y pueden permitir un incremento de la regulación o de las disponibilidades en época de sequía mediante un plan de bombeos programados. Los modelos de uso conjunto ofrecen la posibilidad de evaluar estas alternativas.

La necesidad de una rigurosa evaluación de diferentes alternativas de regulación (infraestructuras básicas, nuevas presas y canales) o reglas de explotación (criterios para bombeos y desembalses) exige, inevitablemente, el apoyo de modelos de simulación, con la complejidad necesaria para abarcar los aspectos sustanciales del problema concreto.

#### **4.3. Sistemas de información geográfica en la gestión**

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye una valiosa herramienta para la planificación y la gestión de los recursos hídrico dentro del territorio de una cuenca hidrográfica, ya que es posible visualizar, consultar y evaluar diferentes escenarios que ayudan a tomar decisiones adecuadas y oportunas en cuanto a la asignación del recurso hídrico.

Un SIG permite no sólo estudiar los datos disponibles, mejorando considerablemente la visualización e interpretación de los mismos así como la presentación de resultados. Además posibilita el empleo simultáneo de información, lo que abre un abanico de posibilidades. Lo más importante es que permite la simulación de diversos escenarios y la construcción de otras variables como erosión y producción de sedimentos en la cuenca, utilizando la calculadora de mapas y la información implementada. La mayor fortaleza de este sistema es la continuidad espacial que se le da a la información. En el ejercicio de la planificación tener la información distribuida es de gran utilidad para realizar análisis en cualquier punto de la cuenca. Otra fortaleza es que se puede tener en un punto cualquiera la información de la cuenca que drena a través de él.

En términos de gestión de los recursos hídricos, es de gran importancia entender y conocer el ciclo hidrológico como sistema compuesto por procesos de precipitación, evaporación, escorrentía, entre otros. En el ejercicio de la gestión, apoyado en la actualización continua de la información, simultáneamente se está mejorando el conocimiento de estos elementos. La base de datos debe ser lo más completa posible y tener una actualización permanentemente. Es necesario que este sistema sea abierto a todos los usuarios, y es importante que la persona encargada de su manejo sea la misma que realice las visitas de campo, porque él es quien tiene la mayor información y puede retroalimentar el sistema.

Para la gestión efectiva es importante que cada vez que haya una incidencia administrativa en torno a una captación se actualice la información; además, que cada vez que un funcionario visite la captación y el vertimiento obtenga información que permita actualizar el sistema, incluyendo esquemas gráficos y material fotográfico.

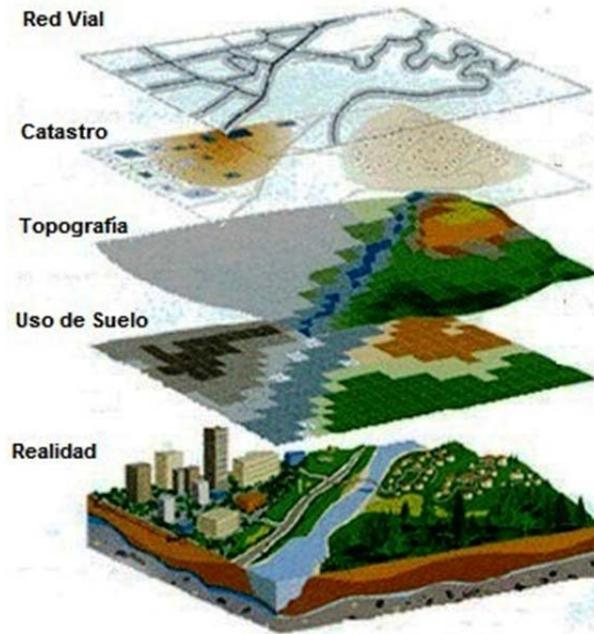


Ilustración 13: Esquema de un SIG.

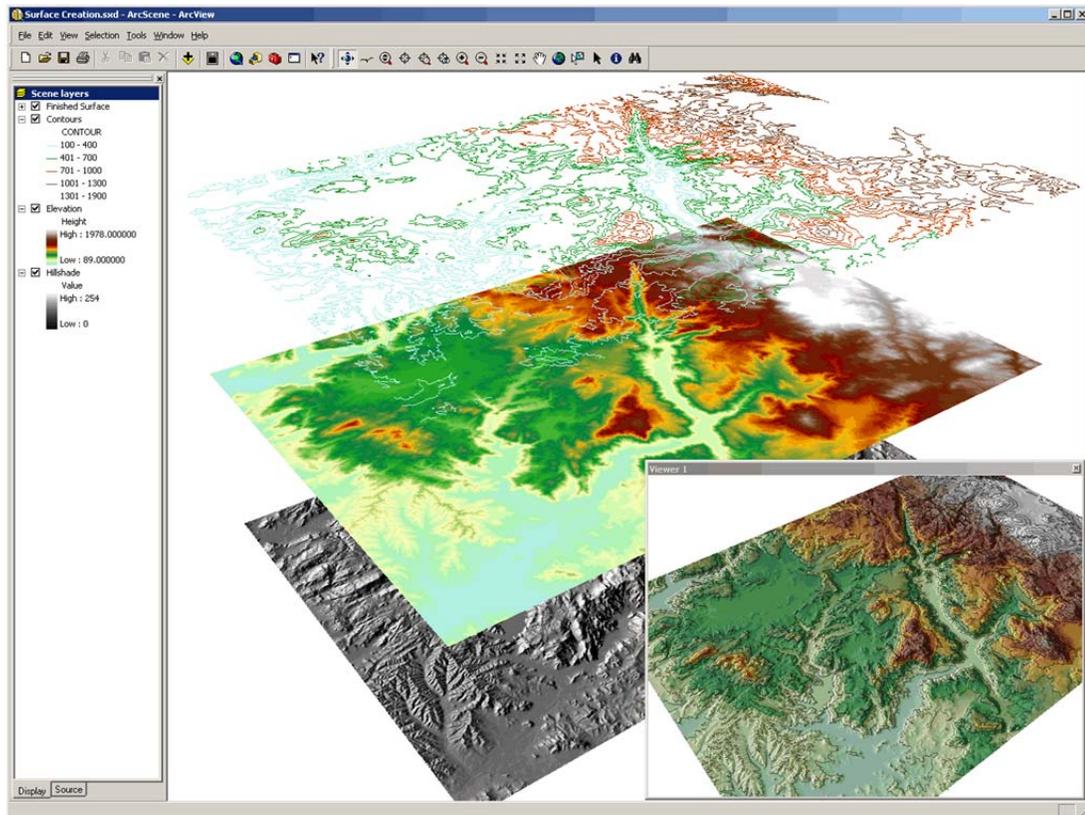


Ilustración 14: Organización del trabajo a partir de información básica en un programa de SIG.

#### 4.4. Sistemas automáticos de información hidrológica

La gestión global de una cuenca hidrográfica es una tarea compleja e interrelacionada. Las acciones desarrolladas aguas arriba serán influyentes o determinantes aguas abajo y viceversa. Por ello, la decisión de realizar una extracción de aguas, la construcción de alguna infraestructura fluvial o la aparición de abundantes lluvias, un vertido industrial o urbano, implicará una serie de variaciones e influencias en el resto de la cuenca que es preciso tener previstas y contempladas para asegurar el correcto abastecimiento de agua a los distintos sectores demandantes, poblaciones, industrias y agricultura, sin deteriorar el equilibrio ecológico de la cuenca.

Una de las herramientas más modernas y eficaces que existen hoy en día en el campo de la gestión de recursos hídricos es el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). Este sistema se basa en una red de telediagnóstico y telecontrol que emplea sistemas de toma de datos (pluviómetros, caudalímetros, sensores de nivel, estaciones de aforo en cauces y embalses, estaciones termo-pluviométricas, etc.), que son procesados informáticamente de tal modo que, en una pantalla de ordenador o sinóptico, se muestra, por un lado, de forma resumida el estado real de la cuenca y, por otro lado, realiza simulaciones computarizadas del comportamiento del río en caso de avenidas, inundaciones, vertidos, etc.

Con todo ello se cumple con el objetivo de racionalizar y agilizar la toma de decisiones en cuatro aspectos principales:

- ✓ El primero se refiere a la gestión global de los recursos hídricos disponibles. Por un lado se contempla la demanda existente en cada zona: riego, abastecimientos urbanos e industriales, centrales hidroeléctricas, etc., y, por otro lado, la oferta de agua disponible, sin dañar en ningún caso el equilibrio ecológico de los cauces y acuíferos. Existe la posibilidad de, hasta cierto punto, prever, según datos históricos y previsiones meteorológicas, la aparición de inundaciones y crecidas en cualquier punto de la cuenca. De este modo se consigue, por un lado, aumentar la capacidad de respuesta de los distintos cuerpos y fuerzas de seguridad afectados, dar avisos a la población, etc. de tal modo que se eviten los daños personales.
- ✓ Por otro lado, se minimizan los posibles daños materiales y, a largo plazo, permite la planificación de la construcción de infraestructuras de protección contra inundaciones, que será una de las mejores políticas para evitar la degradación del entorno del cauce.
- ✓ En tercer orden, entre las estaciones de medida automática de la calidad del agua y la posterior gestión de datos de análisis de laboratorio es posible la vigilancia y control de los niveles de la calidad de las aguas, del nivel de contaminación de ríos, pantanos, canales, etc. En las estaciones de determinación de la calidad de las aguas se analizan de forma automática todos o algunos de los parámetros considerados como indicadores generales de contaminación, pH, temperatura del agua, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, nivel, caudal, amonio total, carbono orgánico, cloruros y nitratos.
- ✓ Por último, permite un mayor rendimiento de las inversiones realizadas en instalaciones, equipos, infraestructuras, etc., al modelizar su efectividad antes de su construcción.

El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) se basa en la toma de datos en tiempo real a partir de una red de telediagnóstico y telecontrol que transmite y procesa todas las variables captadas en los distintos puntos de la cuenca, mostrando continuamente el estado real de la misma y empleando datos de archivo

histórico. Modelizará el comportamiento teórico del río en todo su cauce, sobre todo en casos de crecidas e inundaciones. Técnicamente el SAIH se organiza en tres niveles:

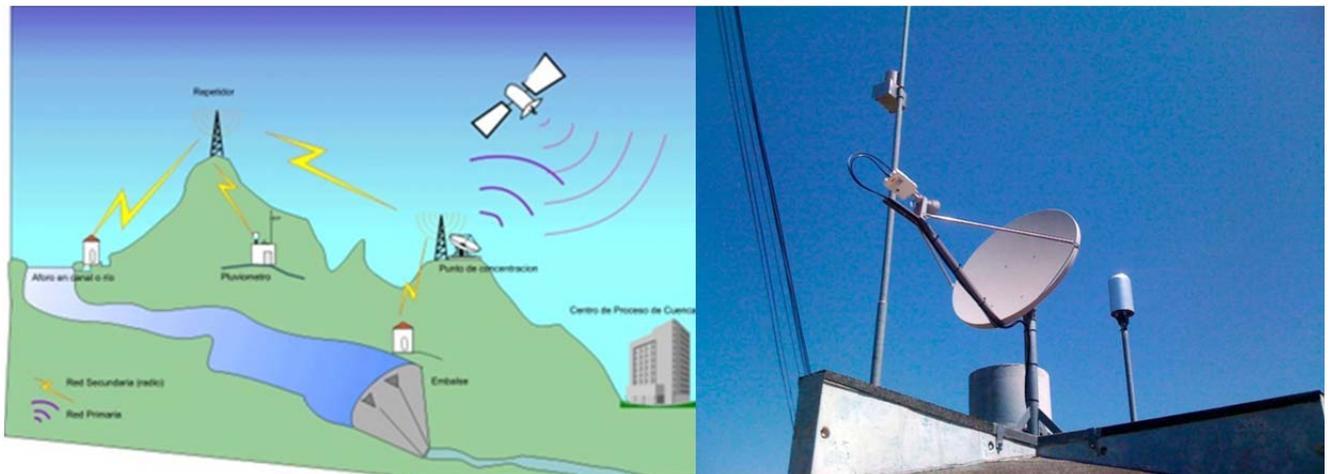
- ✓ Puntos de Control
- ✓ Puntos de Concentración
- ✓ Centros de Proceso de Cuenca

En los primeros se instalan los sensores que realizan la toma de datos y la convierten en señal eléctrica interpretable por un microprocesador para su transmisión en tiempo real a los Puntos de Concentración que dividen la cuenca en zonas, según razones técnicas o geográficas. En éstos se concentra la información captada en los puntos de control de su zona, se procesa, almacena y se transmite al Centro de Proceso de Cuenca, donde, a su vez, se recibe la información de todos los puntos, se procesa y almacena, soportando las funciones de configuración, mantenimiento, gestión y supervisión de toda la cuenca.

La comunicación entre los distintos niveles jerárquicos se realiza de varios modos, vía radio, telefónica, etc.

Destaca el sistema empleado en la cuenca del Guadalquivir, que se basa en una red de estaciones VSAT (Very Small Aperture Terminal) a través del satélite HISPASAT 1°.

Finalmente, todos los datos, tanto los recibidos desde toda la red de sensores instalados en la cuenca como los procedentes de laboratorios, datos de campo, previsiones del Instituto Meteorológico Nacional, de los radares meteorológicos, etc. son procesados informáticamente de tal modo que, finalmente, se consigue una sencilla modelización del estado del cauce en una pantalla de ordenador. De este modo, los gestores de las cuencas son capaces de tomar decisiones de forma óptima, conociendo en tiempo real el estado concreto del cauce en cada punto.



*Ilustración 15: Esquema de red de estaciones y sistema de registro de información satelital.*

**MÓDULO 5.** Contenido del derecho de agua. Naturaleza Jurídica y Autoridad de Aplicación. Clasificación de las aguas. Permisos y concesión: real y personal. Aguas Subterráneas. Protección. Sobreexplotación y Salinización de acuíferos. Recarga. Perímetros de Protección. Consorcio de Usuarios. Régimen del agua en el orden nacional y provincial. Manejo de cuencas interprovinciales, internacionales e interjurisdiccionales. Economía de medio ambiente. El valor del ambiente.

---

## 5. CONTENIDO DEL DERECHO DE AGUA

El agua es fundamental para la vida social, económica y ambiental de un país. Por ello es tan importante que los anteproyectos de ley de aguas se presenten con explicación de motivos, el origen de las normas y los propósitos de política perseguidos con su aplicación sin ocultar sus propósitos. La temática ambiental y social, así como las características propias con que se presenta el agua, no deben ni tienen por qué ser relegados para fomentar la inversión privada y el uso eficiente del agua como valor económico.

Una Ley general de Aguas debe ofrecer flexibilidad, para que en las distintas zonas del país donde se aplique, se puedan adaptar políticas hídricas coherentes con las características de las mismas, debe asignar prioridad para una ocupación territorial que no altere el flujo natural del agua, priorizar las zonas de captación y usos razonables del agua para asentamientos humanos, establecer criterios de planificación del uso múltiple del agua por cuencas, prever como mantener caudales mínimos y las condiciones de cauces naturales para mantener la vida acuática. Debe tener en cuenta que el manejo de aguas no es independiente de lo que se hace en la tierra con otros recursos, debe hacer referencia al manejo y gestión conjunto de las aguas subterráneas y superficiales y debe determinar normas operativas relevantes para controlar los distintos tipos de contaminación, debe tener presente los usos actuales y futuros de las aguas de comunidades campesinas nativas. Dentro de este contexto un mercado de aguas puede y debe operar en la medida que exista claras reglas de juego y respeto por el derecho de terceros, el ambiente y los intereses de la sociedad.

El contenido de una ley de aguas debe por ello utilizar una terminología legal precisa y venir acompañada de un glosario adecuado a los usos y costumbres de cada país. Por el ejemplo “patrimonio de la nación”, es un concepto que no sólo implica al “dominio público” si no que también involucra al privado. Por dicho motivo, no porque un bien es “patrimonio de la nación” se le debe eximir del “uso efectivo” al entregar el Estado un derecho de uso de agua.

Precisamente los mercados de derechos de agua, que son una de las opciones importantes para asignar mejor el agua; se fomentan al ir acompañados por la obligación de uso efectivo y beneficioso y caducidad en caso de incumplimiento de la ley. De lo contrario, las posesiones de derechos tienen una gran posibilidad de monopolios por parte de sus poseedores. El mercado de aguas es además cautivo y sujeto a la infraestructura hidráulica disponible por lo que en general no mueve más del 5% del total de asignaciones de agua de un país con escaso desarrollo hidráulico. El apostar toda la eficiencia de uso de agua de un país, con escasas estructuras hidráulicas y un pobre sistema de gestión hídrica, a un mercado de aguas no bien regulado puede en estos casos causar más perjuicios que beneficios

Una ley de aguas debería, por lo tanto, prever las condiciones básicas del mercadeo de derechos, conforme el ejemplo del sistema norteamericano, (único sistema maduro al respecto), en el cual la ley estipula y destaca que: (i) no se pueden mercadear derechos que no fueron efectivamente utilizados; (ii) no se pueden mercadear derechos en exceso del monto histórico efectivamente consumidos; y (iii) no se pueden mercadear derechos en perjuicio ambiental o comunitario.

---

Otro aspecto fundamental a ser incorporados en una ley de aguas son los instrumentos económicos. La incorporación de un sistema de cobros por disponer de un derecho de uso y la aplicación de pagos por contaminación del agua está comprobado que es una de las herramientas más eficaces para promover un uso eficiente de dicho recurso. El régimen de cobros debe ser un instrumento para mejorar y promover el uso eficiente de los recursos hídricos además de ser un medio de captación de ingresos. Sin embargo debe recordarse que su implementación requiere una buena estructura de gestión del agua por cuenca o sistema de cuencas. Además debe reconocer que todos los habitantes de una cuenca deben contribuir a pagar por el agua y que dicho pago puede también, parcial o totalmente, ser efectuado con trabajo comunitario como lo han demostrado por siglos las comunidades autóctonas del Perú. La justa valorización del agua puede por lo tanto originarse de varias formas según la cultura local y el tipo de régimen económico. En muchos países se dan varias formas simultáneamente.

Debe existir preocupación en la ley por establecer claramente que los derechos de aguas de entidades públicas son derechos reales, estableciendo la obligación de uso efectivo y de corto plazo y alta rentabilidad, tal como las fomentadas por las compañías mineras, como parte del título. De esta forma se protege la disposición del recurso para uso esencial como es el caso de las entidades públicas que tienen derechos otorgados para agua potable y saneamiento. Además debe quedar claramente establecido que el hecho que el agua para la población tiene prioridad sobre otros usos, no exime a las empresas de agua potable y saneamiento de pagar un justiprecio por los derechos de captación del agua, más aún si el agua ya se encuentra captada y canalizada para asignarla a otros usos.

El tema de la competencia para el otorgamiento inicial de las concesiones de uso de agua es muy relevante cuando se piensa fomentar un mercado de aguas. En principio se deben respetar los usos existentes. Para los nuevos usuarios en caso de competencia o subasta, éstos deben competir entre actores con el mismo nivel económico. Solanes (1997) señala que en una reciente discusión sobre el tema en Sudáfrica se analizó que en países con marcadas diferencias sociales y relevante número de pobres el sistema de subasta puede resultar en fuertes inequidades en relación a las oportunidades de acceso al recurso. Por supuesto que si no existe en la ley una forma de prioridad de acceso al agua con fines poblacionales, este sistema se traducirá en que las poblaciones y pueblos pobres así como comunidades indígenas no podrán competir por obtener agua con grandes inversionistas en proyectos de corto plazo y alta rentabilidad como los fomentados por grandes compañías mineras, petroleras y energéticas. Inclusive en zonas desérticas venderán sus derechos de agua junto con la tierra; la cual es dejada de lado por el nuevo usuario que sólo le interesa el agua para inversiones más rentables al corto plazo como en la minería; debido a las elevadas cifras que le ofrece una empresa minera.

Estas ventas de agua se incrementan si los derechos de uso de aguas son asignados en forma individual y no comunal. El hecho que algunos comuneros vendan sus derechos causa un “efecto de arrastre” al resto de la comuna, debido a la merma en la calidad del agua que va quedando y mayores costos de mantenimiento del sistema de canales antes compartido con más usuarios. Ello causa el despoblamiento de zonas habitadas por miles de años así como de los ecosistemas existentes para ceder el agua a una explotación minera; usualmente con no más de 20 o 30 años de proyección; que en general sólo deja luego relaves y no genera empleo para la población local.

Este proceso es en general irreversible tanto para los habitantes como para los pobladores y ecosistemas afectados. Este tema social-ambiental relevante parece no ser de inclusión en la política hídrica implícita en gran parte de los anteproyectos de ley que se presentan en la región pero es particularmente relevante en las zonas áridas y semiáridas de los andes peruanos, bolivianos, chilenos y argentinos. Se dice que “no hay que

detener el progreso”. Eso es válido en la medida que ese progreso sea sustentable y sostenible y no efímero como ocurre con las explotaciones mineras que no mantienen una reserva de agua para preservar la vida en el desierto.

Con relación a la organización institucional para la gestión del agua lamentablemente en varios anteproyectos de ley se sigue asignando la gestión de un recurso multisectorial como el agua a un organismo sectorial como es el ministerio de agricultura o el de energía. La solución es de alguna manera lo opuesto de la práctica moderna donde el manejo del agua se hace depender de organismos no usuarios, no sectoriales y no vinculados directamente a un sector de usos. Si se sigue con la práctica de asignar la autoridad máxima de aguas a un sector usuario se crea un obstáculo importante para la gestión de los recursos hídricos. Un organismo público sectorial en definitiva es juez y parte en el manejo del agua. Por ejemplo, con este sistema todos los usos del agua; incluido el empleado para generar electricidad o abastecer de agua potable; estarían sujetos a una autoridad de aguas de una cuenca, que dependería de una autoridad nacional de aguas, que dependería de un consejo de aguas de nivel nacional (compuesto por personas del estado, sociedad civil y usuarios), que dependería de un organismo sectorial y que luego se reduciría a la decisión de un ministro como el de agricultura o el de energía. Esto no es adecuado. Dado su carácter la Autoridad de Aguas debe depender directamente o en última instancia del primer ministro o de un ministerio de tipo multisectorial y además tener autonomía en sus decisiones dentro del marco de la ley y los acuerdos del consejo.

La ley de aguas debería también disponer, más allá de la obligatoriedad de establecer un sistema institucional de gestión de agua a nivel nacional y por cuencas (sistema nacional de gerenciamiento de recursos hídricos), que se elaboren normas y criterios de formulación, aprobación y evaluación de planes de uso de agua a nivel de cuencas. Si no se hace mención a los planes de ordenamiento de recursos hídricos con fines de uso múltiple, así como asignación de costos y beneficios de obras multipropósito, en la ley se deja un importante vacío normativo, con la posible consecuencia que el plan se convierta en un simple listado de obras o un documento sin sentido por no existir compromiso de los actores involucrados en su aplicación. Además un anteproyecto de aguas debe formularse comenzando por rescatar lo positivo de la ley vigente y determinar por qué, si fuera el caso, no se aplicaron algunos artículos de la misma. Muchas veces la ley vigente es totalmente ignorada. No vaya a suceder que una la nueva ley sea peor que la existente como ha ocurrido tantas veces con las reformas efectuadas sin el debido respeto a lo que funciona adecuadamente.

Lo ideal sería conducir en cada país un debate para ordenar y sistematizar experiencias de la región así como elaborar especificaciones técnicas (véase recuadro 3) de aplicación general en los países de la región, que faciliten los procesos de creación y operación de entidades de uso múltiple del agua a nivel de cuencas.

### **5.1. Naturaleza Jurídica**

Para el tratamiento de este tema, se realiza a continuación un extracto textual de un excelente trabajo realizado por Formento y Ferrazzino (2002). La constatación de que el agua no es un recurso natural infinito justifica la especial relevancia e interés que suscita en la actualidad, en los diversos sectores sociales, materias como la protección y la utilización del dominio público, la calidad de las aguas y la planificación hidrológica. De tal forma, se hace necesario conocer de qué manera la legislación argentina dispone de herramientas para configurar el régimen legal de aguas, cuáles son sus alcances y sus limitaciones en el marco de los recursos naturales, el medio ambiente y la actividad agraria. En efecto, siendo un recurso de fundamental importancia para la vida y esencia del hombre, ha sido necesaria su regulación jurídica mediante un conjunto de complejas normas que se encuentra en distintos ámbitos del derecho nacional.

El moderno derecho de aguas surgió de la necesidad de balancear los distintos intereses sectoriales y espaciales que recaen sobre este recurso. Sus normas se entrelazaron con las del derecho energético, el agrario, el minero, el industrial, el naviero y el pesquero. Debido a su movimiento, está también sometido a las relaciones interjurisdiccionales e internacionales (Valls, 1994). Está constituido por aquellas normas que perteneciendo al derecho público o al derecho privado, rigen la creación, la modificación, la transmisión y la extinción de las relaciones (jurídicas) aplicables a su conocimiento, aprovechamiento y preservación como, asimismo, a la defensa contra su acción nociva (Brebba, 1992). Por consiguiente, resulta difícil el estudio de la normativa del agua porque no se encuentra sistematizada, la mayoría está incorporada al derecho de fondo, o sea, resulta del Código Civil pero, también, hay importantes disposiciones en el derecho administrativo, en los códigos provinciales, en las normas municipales.

En el campo jurídico particular, la indefinición acerca de la especialidad del derecho ambiental, de la legislación de los recursos naturales e, incluso del derecho agrario y los diferentes criterios en cuanto al objeto de estos sectores; conducen a una defensa plena de los intereses que ellos defienden. Por consiguiente, se favorece un tratamiento clásico de la problemática desde la perspectiva de la estructura interna de las normas que la tratan. Se resuelve el problema como si fuera una cuestión más del derecho civil o del administrativo, según los sujetos de la relación, y se pierde la especialización propia de la temática tratada (Pastorino, 1998).

Resulta imprescindible asumir la interdisciplinariedad con que debe abordarse el agua, los restantes recursos naturales, el ambiente y la actividad agraria. En consecuencia, se refuerza el criterio de que el agua constituye uno de los elementos que integran el ambiente, que es alcanzado por el principio de la interdependencia de los recursos naturales y, por tanto, no puede aislárselo para su tratamiento.

Esta perspectiva integral favorece la especialización y facilita la resolución de supuestos límites o contradicciones entre ellas. En esta línea, vigorizaría el fuero agrario especializado en razón de la índole técnico-científica de las realidades que aborda, fortaleciendo su contenido relacionado con los elementos de la naturaleza y sus recursos. Sería aconsejable no resolver los conflictos ambientales, agrarios o de recursos naturales como si fueran una causa administrativa o civil más. Así, la problemática queda encorsetada entre el derecho civil y el administrativo (Pastorino, 1998), mientras que el tema ambiental ni siquiera figura en la agenda de la propia labor legislativa.

Metodológicamente, este trabajo se basa en aplicar el método descriptivo y analítico, con la finalidad de generar y analizar críticamente la información referida a los principios generales establecidos por la normativa existente en la legislación argentina.

### **Los recursos naturales en el sistema federativo argentino**

La República Argentina tiene un sistema federal de organización, donde cada provincia conserva el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio, en este caso, el agua. De tal forma, la primera característica significativa que aparece en el derecho positivo argentino es la coexistencia de tantos regímenes legales como provincias existen, a lo que debe sumarse la legislación de carácter nacional, la cual resulta aplicable en determinadas jurisdicciones o en actividades específicas.

Como consecuencia del sistema federativo la Constitución asegura la independencia económica de las provincias y su autonomía para disponer de los recursos naturales- suelo, subsuelo mineral, hídrico, espacio aéreo, ríos interprovinciales- y demás bienes que, conforme a las leyes que dicte el Congreso de la Nación, merezcan la calificación de bienes de dominio público.

Con la reforma de la Constitución Nacional de 1994 se introduce una disposición relativa al dominio de los recursos naturales (Art. 124). En tal sentido, se establece que “corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio”. Los estados provinciales conservan todo el poder no delegado al Gobierno Federal, así como aquel que se hubiesen reservado por medio de pactos especiales. La excepción la constituyen aquellos recursos que en forma expresa, hubieran sido transferidos constitucionalmente a la Nación (Pigretti, 1997).

### **El derecho de aguas en las constituciones provinciales**

Lamentablemente, y en ausencia de una concepción y tratamiento integral, muchas leyes provinciales se refieren al agua. Esta situación genera una desarmonía entre las normas, lleva al desconocimiento de las mismas y a la intervención de una pluralidad de organismos públicos. Las Constituciones Provinciales, por lo general, establecen principios referidos a:

- El derecho de usar el agua será objeto de concesiones, beneficiando al predio para el que se utilizará el recurso.
- El otorgamiento de dichas concesiones debe hacerse por ley, correspondiendo a los poderes administrativos el control del cumplimiento de las condiciones.

### **Los códigos de agua provinciales**

Algunas provincias han dictado leyes o códigos de aguas, siendo la más antigua del año 1884, de la provincia de Mendoza; en 1946, Salta dictó un moderno código de agua; en 1950, Santiago del Estero, modificado en 1955. Estas leyes establecen principios en materia de concesiones de aguas que, por el Código Civil, corresponden al dominio público de ellas. Dentro de la región pampeana, Córdoba cuenta con un código de aguas, que indica que las concesiones deben gestionarse ante la Dirección Provincial de Hidráulica, ente registrador de los usuarios.

Estas concesiones pueden otorgarse tanto a propietarios individuales como a comunidades de usuarios. En el caso de las aguas superficiales, la concesión es a perpetuidad. Para el caso de las subterráneas, la concesión es eventual (no permanente) y se requiere informar las características de la perforación y los equipos previstos, la calidad y el caudal de agua extraída, e identificar al perforista y al técnico responsable, quienes deben estar inscriptos en un registro especial (Formento, 1998).

En ese código se ha fijado un orden de prioridades para el uso de aguas, y la máxima, la tienen los aprovechamientos para uso doméstico, municipal y el abastecimiento de la población; en segundo término, están los usos industriales; en tercer lugar, el uso agrícola (riego); en cuarto, la bebida del ganado y, luego, los restantes (energético, recreativo y minero). Para obtener una concesión para uso agrícola debe demostrarse que el riego es necesario, que los suelos son aptos y que se cuenta con el adecuado desagüe.

Algunas provincias fijaron en sus constituciones los principios básicos de su política hídrica; tal como los casos de Mendoza, Río Negro y Chubut; otras, dictaron reglamentos. Las provincias no solo fueron elaborando códigos sistemáticos y orgánicos que pretendían regular todas las alternativas posibles, sino que algunas llegaron a cambiar sus códigos recientes por modelos que consideraban más modernos. Como resultado, las provincias argentinas lograron verdaderos modelos jurídicos que contemplaban muchas variables, pero que no siempre coincidieron con los requerimientos perfeccionistas. Los códigos de agua de San Luis y Santa Cruz concentran su enfoque normativo sobre los requerimientos específicos de cada provincia (Valls, 1994).

En 1999, se promulgó la ley 12.257 que sancionó el Código de agua de la Provincia de Buenos Aires “estableciendo el régimen de protección, conservación y manejo de recurso hídrico de la provincia”. En dicho código, se prevé la creación de un ente autárquico “autoridad del agua”, la formación de consorcios integrados por los beneficiarios y se reglamentan los distintos usos; la mencionada ley aún no fue reglamentada, lo que dificulta su aplicación. En general, los códigos de aguas responden a los siguientes principios:

- El Estado conserva el derecho de propiedad sobre el agua, sin perjuicio de ceder su uso a los particulares a través del otorgamiento de concesiones.
- Establecen un sistema de prioridad horaria cuando las concesiones tengan el mismo objeto, de otro modo la prioridad se determinará por el tipo de consumo a realizar.
- En la solicitud que se presente, se indicará la superficie del predio a regar, las propiedades a atravesar, el volumen de agua a emplear, el tipo de obras de captación, la conducción y la conservación e información sobre la existencia de terceros concesionarios en las proximidades.
- Las concesiones se otorgarán previa citación de los interesados por medio de edictos y de acuerdo a los elementos de convicción aportados por el peticionante.
- La concesión puede otorgarse por tiempo ilimitado o por determinado plazo, operándose su caducidad por no haberse emprendido las obras dentro del plazo propuesto, o por no haberse ejercitado el objeto de la concesión por el término de un año o por un plazo mayor.
- Se debe abonar un canon por volumen de agua utilizado.

Más allá de la validez de cada intento de instituir un fuero específico para las cuestiones relativas al uso del agua, tal como caracterizan a los distintos códigos de aguas, estos procedimientos implican realizar un abordaje inadecuado y parcial. En efecto, no sólo hay que tener en cuenta al recurso agua conforme a las leyes de la naturaleza, sino que es necesario conceptualizarla como un elemento más del ecosistema.

Por otra parte, cualquier persona puede solicitar ante la autoridad pública, la inclusión de la declaración de impacto ambiental en los códigos de aguas, cuando se efectúe aprovechamientos de agua de cierta magnitud, con el fin de que las causas determinantes del impacto sean removidas (Victoria, 1998).

## **NATURALEZA Y RÉGIMEN JURÍDICO DEL AGUA**

Por su naturaleza jurídica, el Código Civil argentino caracteriza al agua como:

- un bien inmueble por naturaleza, cuando integra o compone partes fluidas del suelo que conforman su superficie y profundidad.
- una cosa mueble cuando siendo parte fluida del suelo, puede ser separada de él y transportarse de un lugar a otro.

Con relación al régimen jurídico del agua, si bien por el Código Civil todos tienen derecho de usar y gozar del agua pública, el Estado puede disponer sobre ese uso y goce; en cambio, sólo puede reglamentar el ejercicio del derecho del propietario sobre el agua privada.

## **EL DOMINIO, LA JURISDICCIÓN Y LA SERVIDUMBRE**

Para entender la complejidad de la aplicación de la normativa jurídica con relación al derecho de aguas, es necesario distinguir y precisar los conceptos de dominio, jurisdicción y servidumbre. El dominio [4] confiere a su titular la prerrogativa de poseer la cosa, disponer o servirse de ella, usarla y gozarla conforme a un ejercicio

regular, y de reivindicarla de quien injustamente la posea. Es el derecho en virtud del cual una cosa se encuentra sometida a la voluntad y acción de una persona. Se ejerce sobre las cosas, los bienes, los recursos. La jurisdicción es la suma de facultades divisibles en las diversas materias. Se ejerce sobre las relaciones funcionales.

La diferencia entre ambos conceptos radica en que, mientras que el dominio [5] se ejerce sobre las cosas, la jurisdicción lo hace sobre las relaciones. La jurisdicción hace a los usos, el dominio hace a la titularidad del recurso. El dominio lleva necesariamente a la jurisdicción; la jurisdicción no lleva necesariamente al dominio. Pero, en última instancia, tiene más cuota de poder la jurisdicción que el dominio y éste puede terminar vaciado.

Por ejemplo, respecto al tratamiento de las cuencas hídricas: "...En una cuenca provincial navegable, el dominio sobre las aguas va a ser de las provincias por donde atraviese el río, o de aquéllas a las que sirva de límite. En cuanto al uso del agua si implican jurisdicción sobre el recurso puede presentarse una alternativa, ya que, puede haber dominio con jurisdicción y puede haber jurisdicción sin dominio" (Franza, 1997).

"La servidumbre es un derecho real, perpetuo o temporario sobre un inmueble ajeno, en virtud del cual se puede usar de él, o ejercer ciertos derechos de disposición, o bien impedir que el propietario ejerza algunos de sus derechos de propiedad" (Art. 2970). El derecho se halla constituido sobre la heredad (el predio) y no sobre la persona, o sea que el beneficio lo tiene una heredad sobre otra; existen un predio sirviente (aquel sobre el cual se han constituido servidumbres) y otro dominante.

A través de este derecho real, el propietario tiene su dominio desmembrado en forma permanente o transitoria, pero a su voluntad o disposición legal, y deberá respetarlo por el tiempo que se halla estipulado. El uso y goce de algunos o todos los derechos de propiedad quedan a cargo de aquel por el cual se ha constituido la servidumbre.

Las servidumbres se establecen por contrato oneroso o gratuito, traslativo de propiedad. Pueden establecerse sobre la totalidad de un inmueble o sobre una parte material de él, en su superficie, profundidad o altura.

## **LA PROPIEDAD DEL AGUA**

En la mayoría de los países el agua es de propiedad pública y su asignación y precio es determinado principalmente por agencias estatales. Como consecuencia, es típicamente el Estado quien asume la responsabilidad de proveer agua a la población, para lo cual debe construir y operar la infraestructura hidráulica necesaria.

En muchos países, los resultados son poco alentadores, ya que a pesar de la creciente escasez de agua y de los altos costos de la infraestructura hidráulica, el agua se utiliza en forma poco eficiente, la infraestructura tiene problemas de diseño, construcción y operación, y la entrega de servicios es deficiente. Actualmente existe una tendencia hacia el refuerzo de la institucionalidad, el mejoramiento de políticas de precios y la entrega de la administración del agua a las comunidades y las asociaciones de usuarios de agua.

La intención es reforzar la atribución al dominio público de todas las aguas continentales -garantía de un bien de todos y para todos- y la incorporación de mecanismos de planificación como elemento esencial en la gestión del agua. Marcar los objetivos en materia de vertidos de una forma clara, la consideración adecuada del régimen económico; definir la regulación de las obras hidráulicas, tener un conocimiento real de los

aprovechamientos y de los recursos para poder trabajar sobre ello, y dar más armas a la administración para tener las garantías de condición previa.

Argentina se inclinó hacia compañías privadas para que manejen los sistemas de aprovisionamiento de agua, lo cual trajo aparejado complicaciones en cuanto a costo y a la tecnología. Es imprescindible señalar que la privatización demanda que haya un seguimiento cercano por parte del aparato estatal.

En la provincia argentina de Tucumán, en razón del encarecimiento del suministro del agua que han sufrido los usuarios, existen presiones para que la compañía Vivendi Environnement abandone su contrato a largo plazo. Por otra parte, esta multinacional francesa alega que perdió 3 millones de dólares sólo en 1998; el tema está siendo sometido a arbitraje. La empresa demandó a la provincia pero perdió. La agencia regulatoria está renegociando el contrato y los consumidores exigen participar en él. Mientras tanto, la provincia busca una nueva compañía que maneje el sistema de abastecimiento de agua. En 1992, la empresa Suez cerró un contrato por 30 años para manejar el servicio de agua en el partido de Lomas de Zamora, -provincia de Buenos Aires- en donde hay problemas de exceso de suministro. La empresa culpa a la crisis Argentina, que impidió nuevas inversiones y que el gasto solamente se limite a mantener la infraestructura existente.

## **DOMINIO PRIVADO Y PÚBLICO DEL AGUA EN LA ARGENTINA**

La legislación argentina, en el Código Civil, establece las siguientes disposiciones con relación a las aguas de dominio público y privado y sus restricciones.

### **AGUAS DE DOMINIO PRIVADO**

- Las vertientes que nacen y mueren dentro de una misma heredad pertenecen, en propiedad, uso y goce, al dueño de la heredad.
- Las aguas pluviales pertenecen a los dueños de las heredades donde cayesen o entrasen.
- Los manantiales, es decir, aquellas aguas que surgen en terrenos particulares, corresponden al dueño del fundo.

### **AGUAS DE DOMINIO PÚBLICO**

- Mares territoriales hasta la distancia que determine la legislación especial.
- Mares interiores, bahías, ensenadas.
- Ríos, sus cauces.
- Demás aguas que corren por cauces naturales.
- Toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer el uso de interés general.
- Aguas subterráneas, sin perjuicio del ejercicio regular del derecho del propietario del fundo de extraer las aguas subterráneas, en la medida de su interés y con sujeción a la reglamentación.
- Lagos navegables y sus lechos.

### **AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Son las que existiendo en las profundidades de la tierra, no constituyen aguas que corren por cauces naturales; su origen debe buscarse en las lluvias, sin descartar aquellas que quedaron en el interior de la tierra [7]. El dominio público puede ser nacional o provincial.

## RÍOS INTERIORES

La Constitución Nacional (Art. 26) consagra que la navegación de los ríos interiores de la Nación es "libre" para todas las banderas, con sujeción únicamente a los reglamentos que dicte la autoridad nacional. El aprovechamiento hídrico corresponde a la jurisdicción provincial, porque las provincias se han reservado todos los derechos que no han delegado expresamente en la Nación.

## AGUAS Y CUENCAS INTERPROVINCIALES

El principio seguido por la legislación argentina en cuanto al "Dominio de las aguas" es que corresponde a la provincia y también su jurisdicción, salvo que las aguas fueran navegables, en cuyo caso la jurisdicción es "federal".

## AGUAS INTERPROVINCIALES NO NAVEGABLES

La doctrina es unánime con relación a las aguas interprovinciales no navegables respecto a que corresponden a las provincias en que se hallan o cruzan, tanto el dominio como la jurisdicción.

La utilización de un recurso limitado como el agua por parte de los distintos usuarios puede generar conflictos entre ellos. Por ejemplo, el usuario de un río aguas arriba puede tomar agua perjudicando al de aguas abajo. En el caso del agua subterránea sucede algo similar, si no se respeta una separación mínima entre pozos de la misma napa, se produce una interferencia entre ellos y los caudales que se pueden extraer se reducen.

Por tales motivos, en países o regiones donde el agua es un bien escaso, se ha desarrollado una legislación específica que regula su uso, resguarda los derechos legales de los usuarios, estableciéndose las bases para el arbitraje en los conflictos que se puedan originar (Pigretti, 1997).

## RESTRICCIONES

Restricciones al dominio privado por causa de interés público derivada de la navegación o flotación. La ley establece la obligación de dejar una calle o camino público de treinta y cinco metros hasta la orilla del río, obligación denominada servidumbre de sirga.

Restricciones al dominio privado basado en el interés privado y público de la mejor utilización económica de la propiedad en materia de aguas. El Código Civil establece:

- la obligación que tiene el dueño del fundo inferior de recibir las aguas que naturalmente desciendan de los terrenos superiores. "Es prohibido al dueño de un terreno superior agravar la situación del terreno inferior dirigiendo las aguas a un solo punto, o haciendo de cualquier modo más impetuosa la corriente que pueda perjudicar al terreno inferior".
- el propietario de un terreno ubicado en una zona baja tiene que soportar el agua que, naturalmente y sin la intervención del hombre, viene desde los campos altos. Y, de igual modo en que está obligado a sufrir por lo que no pidió, tampoco puede hacer nada para contener el agua que naturalmente llega a su establecimiento.
- "El dueño del terreno inferior no puede hacer dique alguno que contenga o haga refluir sobre el terreno superior las aguas, arenas o piedras que naturalmente descienden".

## SERVIDUMBRES REALES

De descarga (sobrantes del riego, de las industrias, del avenamiento, etc.) impuesta por la ley. El propietario inferior está obligado a recibir las aguas sobrantes, salvo la indemnización debida, y también la de permitir el paso de las aguas al procederse al avenamiento.

De recibir aguas de otro predio de los techos vecinos, siempre y cuando las mismas sean naturales y no servidas, y de sacar agua de la fuente, del aljibe, o del pozo. Actualmente, este tipo de restricciones, prácticamente carece de aplicación.

De carácter forzoso en virtud del interés público. La servidumbre de acueducto consiste en el derecho real de hacer entrar las aguas en un inmueble propio viniendo por heredades ajenas. Es siempre continua y aparente, y se aplica a las aguas de uso público, como a las aguas corrientes bajo la concesión de la autoridad competente; a las aguas traídas a la superficie del suelo por medio artificiales, como a las que naturalmente nacen; a las aguas de receptáculo o canales pertenecientes a particulares que hayan concedido el derecho de disponer de ellas.

## DERECHOS Y OBLIGACIONES EN LAS SERVIDUMBRES FORZOSAS

### a) Del dueño del fundo sirviente

- que se le pague un precio por el uso del terreno que fuese ocupado por el acueducto y el de un espacio de cada uno de los costados, que no baje de un metro de anchura, en toda la extensión de su curso. Este ancho podrá ser mayor por convenio de las partes [9]. También, se le abonará el 10 % sobre la suma total del valor del terreno, el cual siempre pertenecerá al dueño del predio sirviente.
- puede oponerse a que se construya otro acueducto en su terreno, ofreciendo paso por el suyo a las aguas de que otra persona quiera servirse, con tal que de ello no se siga un perjuicio notable al que quiera abrir un nuevo acueducto. Se le pagará el valor del suelo ocupado por el antiguo acueducto, incluso el espacio lateral; y se le indemnizará de todo lo que valga la obra en la longitud que aproveche el interesado. Si le fuese necesario ensanchar el acueducto, lo hará a su costa pagando el valor del terreno, y el espacio lateral, pero sin el 10% de recargo.
- puede usar de las aguas que corran por el acueducto descubierto, y llevarlas a su heredad, si con esto no causa perjuicio al predio dominante.
- no puede cubrir el acueducto abierto para utilizar el terreno ni plantar árboles en los lados del acueducto sin asentimiento del dueño de la heredad dominante.
- recibir indemnización de todo perjuicio de parte del que tiene acueducto en heredad ajena, si éste quisiere introducir mayor volumen de agua. Si para ello le fuere necesario obras nuevas, se observará lo dispuesto a la construcción de acueductos

### b) Del dueño del fundo dominante

- a alzar o rebajar el terreno del inmueble sirviente a fin de hacer llegar a su destino las aguas del acueducto; también, podrá tomar la tierra o arena que le fuese necesaria.
- no podrá convertir el acueducto subterráneo en acueducto descubierto, ni el descubierto en subterráneo, privando al poseedor del inmueble sirviente el sacar agua o dar allí de beber a sus animales.

## 5.2. Gestión de Aguas Subterráneas

La gestión de recursos hídricos subterráneos se define como el conjunto de guías, normativas, leyes, reglamentos y actuaciones dirigidas a sostener, proteger, restaurar y regenerar esos recursos (Custodio, 1994). La gestión hace referencia a la cantidad, calidad y disponibilidad de agua subterránea y debe ser compatible con la demanda, con el medio ambiente y con la ordenación y uso del territorio. La gestión requiere considerar los costes y beneficios directos e indirectos, las prioridades y restricciones no valorables económicamente, el uso sostenible del recurso y el respeto a los derechos intergeneracionales.

Sabiendo que el agua es un recurso escaso y altamente vulnerable a las acciones antrópicas directas e indirectas de cualquier índole, es necesario crear un escenario donde toda la sociedad participe activamente en el control de todas las facetas vinculadas a la protección del recurso hídrico y de esa manera, no permitir que un tema tan esencial para la supervivencia de la especie humana misma, sea decisión de unos pocos, sean entes gubernamentales o empresas privadas, (García, 2008; García Maurizio, 2013).

La gestión de las aguas subterráneas no es un objetivo aislado, sino que se integra en la de otros recursos de agua, en la ordenación territorial y en los usos reales del territorio. Supone una asignación de agua que sea económica (no necesariamente barata) y equitativa y suficientemente flexible como para poder adaptarse a un mundo y sociedad cambiantes. La gestión de las aguas subterráneas incluye:

- ✓ Inventario de necesidades y usos
- ✓ Conocimiento de la demanda real y su evolución
- ✓ Disponer de suficiente información y conocimientos científicos y técnicos
- ✓ Disponer de suficiente personal debidamente formado en la temática
- ✓ Poseer medios de observación (monitoreo) de la cantidad y calidad del agua y también de los Impactos ambientales, sociales y territoriales de la explotación
- ✓ Ampararse en medidas administrativas y legales
- ✓ Disponer de medios de aplicación de la normativa vigente
- ✓ Recibir medios económicos adecuados
- ✓ Realizar campañas de información pública y de formación, etc.

Toda gestión ha de ser realista, aceptada socialmente, instrumentable, flexible, adaptada a cada circunstancia local y temporal, e integrada en el conjunto de recursos que requiere la sociedad.

Así como la **gestión** atañe al presente, con visión al futuro, la **planificación** se dirige al futuro considerando el presente. La segunda es la guía de la primera. La planificación no debe ser rígida en la definición de las actuaciones, sino un marco guía para ajustarse a situaciones poco previsibles. La planificación es un conjunto de guías, en un marco legal-administrativo, con directrices económicas orientadas a definir grandes líneas de actuaciones futuras y efectuar correcciones a medida que se observen desviaciones. El marco amplio a que debería limitarse una planificación debe incluir aspectos y criterios tales como:

- ✓ Técnicos en cuanto a calidad y cantidad del agua
- ✓ Económicos, tanto a escala micro como macro
- ✓ Sociales
- ✓ Legales
- ✓ Políticos
- ✓ De seguridad de suministro para usos humanos

- ✓ De atención a situaciones de emergencia y estratégicas
- ✓ De predictibilidad, de forma que sea posible prever como amortizar obras e inversiones

### **El Monitoreo de la Calidad del Agua Subterránea como elemento de gestión**

Con frecuencia se piensa únicamente en la cantidad de agua subterránea disponible y no en la calidad, característica que en determinadas circunstancias, puede decidir sobre su potencial uso.

En general, se define como Calidad del Agua (haciendo extensivo el termino tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas) a la integración de las características y propiedades físicas-químicas, biológicas y radioactivas del agua; el estudio de estas propiedades tiene como objetivo diagnosticar en un determinado momento, el estado del agua para ser utilizada con un fin específico, ya sea sobre la base de Normas de Calidad vigentes o especificaciones requeridas según el uso destino.

La calidad del agua subterránea depende de varios factores como por ejemplo: el origen, tipo, composición litológica y otras características del acuífero, velocidad de circulación local y regional, tipo del agua infiltrada, tiempo de permanencia, etc. Además, las actividades humanas, suponen una importante amenaza de alteración (polución y/o contaminación) de las características naturales de esas aguas subterráneas, ello lleva a que sus propiedades físicas, químicas, radioactivas y biológicas se degraden afectando a los usos, a otras fases del ciclo hidrológico y al medio ambiente.



*Ilustración 16: Contaminación del agua en un pozo por efecto de una fosa séptica.*

### **Las Normas de Potabilidad como elemento de gestión**

Todos los países tienen legislaciones relacionadas con las aguas de consumo humano, las que sirven para determinar las responsabilidades de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable o agua de bebida (términos equivalentes), de su monitoreo y de su control.

Los países cuentan asimismo, con reglamentaciones que definen lo que se entiende por agua potable, es decir, los patrones que ésta debe seguir para que la misma sea inocua para la salud humana. Dentro de esas reglamentaciones de cada país, existe o debería existir, una muy específica que se denomina "Norma de Calidad de Agua de Bebida". Allí se establece qué sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas y/o mínimas permisibles que no signifiquen riesgo para la salud. Es por esto que, no existe ningún país que no considere como herramienta principal para la confección y actualización periódica de sus Normas Nacionales, a las Guías OMS para la calidad del Agua Potable.

La normativa en nuestro país con respecto al agua para suministro público y de uso domiciliario, está regida por el Código Alimentario Argentino. Este define las características físicas, químicas (sustancias inorgánicas y contaminantes orgánicos) y microbiológicas que debe cumplir el agua para ser considerada Agua Potable de Suministro Público y Agua Potable de Uso domiciliario.

Artículo 982 - (**Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007**) "Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios.

### **La protección de la calidad como elemento de gestión**

La protección de los recursos hídricos subterráneos incluye todo el conjunto de acciones y disposiciones cuyo objetivo es conservar tanto la cantidad como la calidad. El concepto debe incluir todas las consideraciones de carácter social, económico, técnico y legal que tengan como objetivo preservar el recurso hídrico subterráneo, desde el punto de vista de su cantidad como la calidad en el presente y futuro.

Todas estas consideraciones deberán estar relacionadas con el criterio del uso sustentable del recurso. De acuerdo a lo definido por la World Commission on Environment and Development, (1987), el desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas.

La protección de los recursos hídricos subterráneos se basa en principios generales, hidrogeológicos, hidrológicos, ambientales, económicos y sociales. La protección conlleva costos económicos, unos de carácter general que gravan sobre una región o un territorio, y otros específicos que se deben pagar, al menos en parte, por los beneficiarios de la protección.

Todas las acciones y disposiciones, en el marco de la protección de los recursos hídricos subterráneos, necesitan una base institucional y adicionalmente un apoyo legal. Las autoridades de gestión deben considerar los siguientes pasos:

- ✓ Establecer políticas nacionales y/o regionales de control de contaminación de aguas subterráneas, para aliviar los problemas existentes y para prevenir la contaminación en áreas que aún no están afectadas.
- ✓ Revisar la legislación existente a fin de decidir si es adecuada para este propósito y modificarla si fuera necesario.

Las medidas o estrategias de protección de las aguas subterráneas contra la contaminación deben encontrar un balance realista entre la protección del conjunto de los recursos hídricos de un acuífero, sobre la base de mapas de vulnerabilidad, y la protección de fuentes puntuales de suministro (pozos, manantiales) en base a la delimitación de perímetros de protección.



Ilustración 17: Contaminación del agua subterránea por lixiviados de un vertedero de residuos urbanos.

### **Determinación y Mapeo de la Vulnerabilidad como estrategia de protección de la calidad**

La Vulnerabilidad de las Aguas Subterráneas es una propiedad intrínseca de un acuífero que depende de la capacidad de ese sistema para resistir a los impactos humanos y naturales. Los parámetros principales para este tipo de análisis son: recarga, tipo de suelo, características de la zona vadosa, tipología de acuífero, topografía, naturaleza geológica de las capas suprayacentes, etc.

Existen distintos métodos para la determinación de los Índices de Vulnerabilidad, luego de obtenidos, es posible representarlos en forma cartográfica, de modo útil y adecuado para las tareas de Gestión. Los mapas son sombreados en tonos de rojo, indicando la vulnerabilidad creciente con una mayor intensidad de color. Se recomienda, en todos los casos, el mapeo de la Vulnerabilidad a la escala necesaria, teniendo en cuenta que, mapas a escala pequeña son de escasa utilidad pero ilustrativos, formativos y creadores de conciencia.

Los parámetros hidrogeológicos y la ubicación de las obras hidráulicas (por lo general extraídos directamente del mapa hidrogeológico) deberían conservarse en el mapa de vulnerabilidad, para uso en posteriores investigaciones más detalladas del riesgo de contaminación de aguas subterráneas en áreas seleccionadas. En el caso de la existencia de carga contaminante al subsuelo de fuentes puntuales de contaminación, es necesaria la realización de un inventario y localización de los mismos en un mapa a la misma escala que el anterior. Para fuentes de contaminación multipuntual dispersa, generalmente es más práctico delinear la extensión de las actividades relacionadas en el mapa de carga contaminante, con sombreado para representar la intensidad relativa con respecto a los principales contaminantes persistentes registrando los datos que sirven de consulta en el inventario tabulado.

Con la utilización de mapas de vulnerabilidad, se pretende alcanzar la siguiente secuencia de objetivos:

- ✓ Proporcionar una zonación de un área determinada tal que indique la posibilidad de penetración y difusión de un contaminante en un acuífero.
- ✓ Correlacionar estos datos con la presencia de fuentes puntuales o difusas de posible contaminación.
- ✓ Realizar una valoración del impacto sobre la calidad del agua subterránea para la prevención de sucesos de tipo catastróficos o derivados de accidentes o para reducir sus efectos.
- ✓ Definir los objetivos de la prevención y de la protección en la planificación del aprovechamiento y uso de los recursos de agua.
- ✓ Orientar la organización del control y seguimiento de la calidad del agua subterránea y del medio ambiente relacionado.
- ✓ Definir el cuadro de actuaciones en caso de emergencia hídrica.
- ✓ Orientar las decisiones de ordenación del territorio.
- ✓ Marcar prioridades en las aplicaciones presupuestarias.
- ✓ Mejorar la educación general.

Todo esto hace que un mapa de vulnerabilidad no sea una herramienta de uso universal para no especialistas, de forma que personas inexpertas en el tema, no pueden decidir con garantías, en base a esos mapas, sobre la planificación del agua subterránea, ordenación del territorio y normas de uso en relación a actividades y sustancias contaminantes.

### **Determinación de Perímetros de Protección de captaciones como estrategia de protección de la calidad**

La importancia de las captaciones de agua subterránea (manantiales, pozos y drenes), como fuentes de suministro de agua potable, ha llevado a intentar su protección mediante el establecimiento de Zonas o Perímetros de Protección en el entorno de la misma, en estas zonas, se establecen, en forma gradual, restricciones al uso del territorio y a actividades que supongan un riesgo de contaminación.

La creación de zonas de protección garantiza a largo plazo la existencia segura del recurso hídrico subterráneo sin contaminación para que éste pueda ser utilizado en el momento o en un futuro como fuente para abastecimiento público de agua.

El área de protección más amplia que se puede definir para un pozo o manantial es la de captación y recarga. Esta es el área dentro de la cual toda recarga del acuífero, ya sea proveniente de precipitación o infiltración de agua superficial, será captada. Es por ello que, para eliminar completamente el riesgo de contaminación, toda actividad potencialmente contaminadora tendrá que ser prohibida o controlada en el ámbito requerido dentro

de toda la zona de captación. Esto será frecuentemente insostenible debido a presiones socioeconómicas, entonces se requerirá efectuar alguna subdivisión de la zona de captación para aplicar restricciones más severas en aquellas áreas cercanas al pozo o manantial.

Las zonas de protección se delimitan teniendo en cuenta las condiciones hidrogeológicas del ambiente y en especial, la extensión de la zona de recarga de las captaciones a proteger.



Ilustración 18: Zonas de protección de una captación (pozo).

**Zona de Protección I o Zona Inmediata:** Debe rodear a la captación por los lados por lo menos con un radio de 10 metros.

**Zona de Protección II o Zona Próxima:** Depende principalmente de la "línea de los 50 días". Aguas arriba de la captación debe haber, por lo menos, 100 metros. Como regla, esta zona de protección no necesita ser tan grande hacia todos los lados y aguas abajo del pozo como la zona de anterior. En el caso de que los datos hidrogeológicos sean insuficientes o exista una fuerte fluctuación del caudal de descarga, esta zona debe ser mayor (como medida de seguridad).

**Zona de Protección III o Zona Alejada:** Generalmente debe extenderse hasta los límites de las zona de recarga de la captación.

Para definir las restricciones del uso de la tierra en las zonas de protección, se deben tener en cuenta las actividades agrícolas, ganaderas, forestales, industriales, mineras, de transporte (rutas, ferrocarriles, poliductos, etc.), urbanas, prospección y penetración del subsuelo, explotación del recurso por otros usuarios, etc. Pueden citarse algunas restricciones aplicadas al uso de la tierra para cada una de las zonas de protección:

Para la **Zona de Protección I o Inmediata:** propiedad de la empresa que presta el servicio. Esta zona debe garantizar la protección directa sobre los alrededores inmediatos de las captaciones o manantiales contra la contaminación. Deberá estar cerrada y controlada con prohibición de realizar cualquier actividad.

Para la **Zona de Protección II o Próxima:** se autoriza solo actividades no contaminantes, cierto tipos de almacenamientos y en general una circulación restringida al tránsito de personas y vehículos. Debe garantizar la protección contra la polución causada por el establecimiento humano y sus actividades, particularmente

aquellas que ponen en riesgo la calidad del agua por su cercanía a las captaciones o a manantiales. El límite de esta zona se extiende a un tiempo de transferencia de 50 días alrededor del área de captación. Dentro de los límites de la zona de protección II son válidas todas las restricciones para la zona III y tampoco está permitido la presencia de edificios para uso comercial o agrícola, establos, depósitos para materiales para la construcción, rutas, vías de ferrocarril y otras instalaciones para el tráfico, estacionamiento de vehículos, expendio de combustibles y otros servicios, talleres mecánicos, lugares para acampar, predios deportivos, cementerios, extracción de áridos, actividad minera si causa destrucción de capas protectoras y subsidencia de suelos, explosiones, apertura y uso inapropiado de fertilizantes minerales, transporte de sustancias radiactivas y residuales, etc.

Para la **Zona de Protección III o Lejana**: se establecen restricciones de uso del terreno en relación a la instalación de establecimientos industriales o urbanizaciones o a determinadas actividades agrícolas, y a la existencia de vías de comunicación. Esta zona debe garantizar la protección contra peligros serios especialmente los causados por sustancias químicas no degradables o altamente degradables y contaminantes radiactivos. Tampoco está permitido: filtrado de aguas residuales, incluyendo aguas de alcantarillado de rutas, caminos y lugares pavimentados; filtración de sustancias radiactivas, refinerías, plantas metalíferas, plantas químicas, etc. si no tratan y remueven estas sustancias cuidadosamente; plantas nucleares, almacenamiento y disposición de sustancias radiactivas o peligrosas, cañerías de conducción muy largas para transportar sustancias peligrosas para la calidad del agua, ubicación de vertederos, depósitos de basura, cementerios de autos y chatarras, plantas de tratamiento de efluentes, etc.

Los programas de protección de las aguas subterráneas son sin duda la estrategia menos costosa y más favorable para la salud pública y el medio ambiente. Deben tener una autoridad legal e institucional adecuada y estructuras estables para ser efectivos. Deben incluir una instrumentación legal apropiada, financiación asegurada a largo plazo, personal suficiente y estrategias de operación estables y mecanismos de financiación para que la actividad perdure.

Luego de establecer las estrategias y programas de protección de los recursos hídricos subterráneos, los entes oficiales serán los encargados de incluirlas e instrumentarlas en el plan de Gestión.

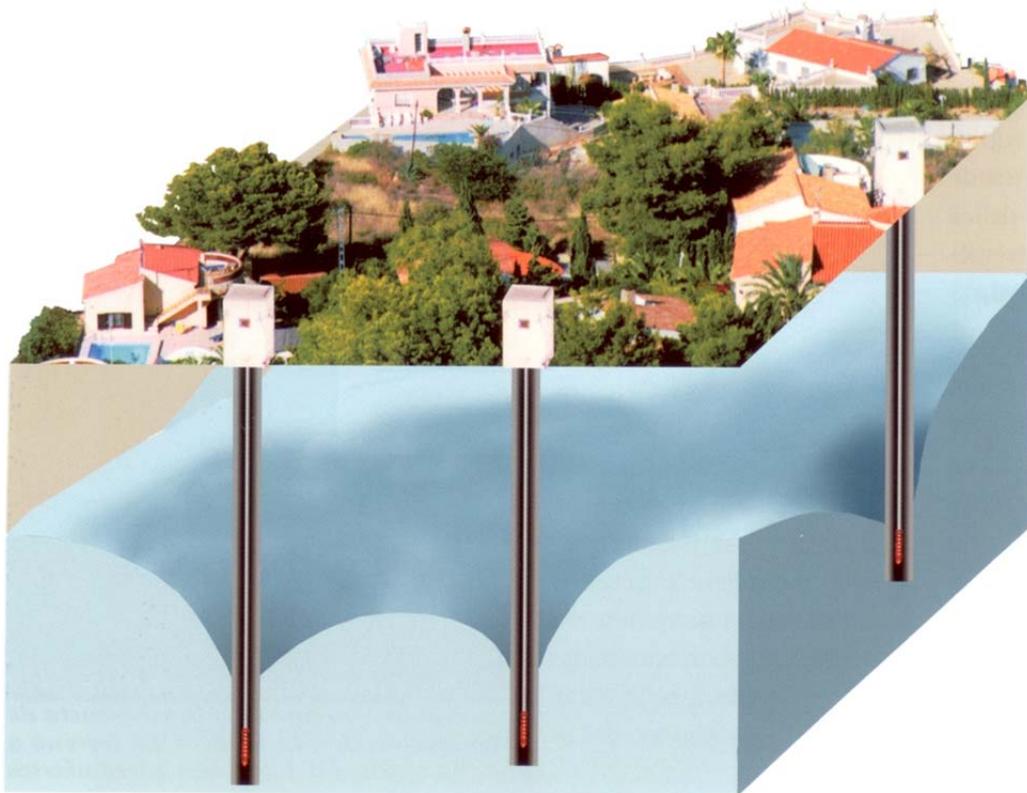
### **La protección de la cantidad del agua subterránea como elemento de gestión**

La protección de la cantidad de agua de un sistema hídrico subterráneo, pretende el uso sostenido de los recursos de agua. El uso intensivo del agua subterránea se está convirtiendo en una situación corriente en muchas áreas del mundo, especialmente en las áridas y semiáridas, y en islas pequeñas y zonas costeras. En la mayoría de circunstancias se puede utilizar a los recursos hídricos subterráneos para suministrar agua dulce a la población local, con beneficios evidentes para el fomento del desarrollo regional. Los acuíferos son un recurso de agua fiable para el suministro de agua y para el riego de cultivos, con un coste razonable y que emplea tecnología disponible.

El agua subterránea es un recurso hídrico clave en el alivio de la pobreza, en la lucha contra la desnutrición y las hambrunas, y en la mejora de las condiciones de salubridad de la población. Sin embargo:

- ✓ El agua subterránea ni resolverá todas las situaciones ni debería ser fomentada como un recurso ilimitado, lo que llevaría a un crecimiento incontrolado en el uso de la misma.

- ✓ Los problemas y las circunstancias locales pueden necesitar consideración especial o de inversión adicional, como en el caso de algunos acuíferos fracturados en zonas áridas, o cuando aparecen componentes disueltos peligrosos, como el arsénico o el fluoruro.
- ✓ Las cuestiones ambientales relacionadas con el agua subterránea pueden ser importantes, especialmente cuando el área se va desarrollando en términos económicos y educativos.
- ✓ El desarrollo intensivo del agua subterránea puede producir algunos efectos colaterales negativos. Estos efectos negativos se refieren en su mayor parte al descenso del nivel del agua subterránea, el agotamiento del almacenamiento, la interferencia con manantiales, agua superficial y ecosistemas dependientes y, a veces, el deterioro de la calidad del agua.



*Ilustración 19: explotación intensiva del agua subterránea.*

### 5.3. Consorcio de usuarios

Se denomina consorcios de usuarios a las personas físicas o jurídicas que se agrupen o se constituyan para el uso de agua pública sea agua superficial o agua subterránea. De acuerdo a esta definición, los consorcios son personas del Derecho Público y Privado, sin fines de lucro, autárquicos y conforman entes públicos no estatales.

De esta manera, las aguas del dominio público son adquiridas por los particulares por medio de la concesión y el permiso. La concesión le brinda al usuario un “derecho al uso, sin que ello signifique garantía del uso mismo”.

Desde el momento en que se establece el acto administrativo de su reconocimiento, el consorcio será responsable del suministro, distribución del agua y evacuación de sus excedentes en su zona de influencia y a tales fines de la infraestructura hidráulica comprendida en la misma; todo ello de acuerdo a los reglamentos, planes e instrucciones que imponga la Autoridad de Aplicación. Asimismo los consorcios asumirán responsabilidades exclusivas por los daños y perjuicios provocados a terceros con motivo de los hechos, actos u omisiones de cualquier naturaleza resultante de su propia actividad, la de sus dependientes y contratistas.

Corresponderá también a los consorcios vigilar que los usuarios hagan uso racional y eficiente de las aguas, dando aviso inmediato a la Autoridad de Aplicación de cualquier irregularidad que pueda producirse. El consorcio y sus miembros serán solidariamente responsables ante el Estado o la Autoridad de Aplicación respecto de las contribuciones a que estén obligados como usuarios de agua pública. Los usuarios que forman parte del consorcio deben pagar un “canon” por “el derecho al uso” del agua.

El Estado o la Autoridad de Aplicación le brindan el Derecho para que el consorcio use agua del Dominio Público de una fuente pública. De acuerdo a ello, el “Estado” no delega facultades, sino que llama a los propios interesados del manejo del recurso, al automanejo controlado o autogestión.

#### **5.4. Régimen del agua en el orden nacional y provincial**

La República Argentina tiene un sistema de gobierno federal compuesto por 23 provincias y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Según la Constitución Nacional, a las provincias les corresponde el dominio de los recursos naturales existentes en su territorio. Existen también poderes concurrentes, cuyo ejercicio corresponde indistinta y simultáneamente al gobierno nacional y provincial.

Argentina dispone de una oferta hídrica media anual por habitante muy importante. La misma es superior a los 22.500 m<sup>3</sup> por habitante, muy por encima del umbral de stress hídrico adoptado por el PNUD equivalente a una disponibilidad de 1000 m<sup>3</sup> por habitante. No obstante la distribución de la oferta es muy irregular, por lo que en varias provincias de la región árida y semiárida, la disponibilidad de agua se ubica por debajo de ese valor, recordando que casi el 65 % del país se encuentra bajo condiciones climáticas áridas o semiáridas.

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, la celebración de tratados internacionales y el dictado de los Códigos Civil, Penal, de Minería, de Comercio, y de Trabajo y Seguridad Social.

La legislación nacional actual está constituida por las normas contenidas fundamentalmente en el Código Civil, el Código de Comercio, el Código de Minería, el Código Penal y leyes federales como las de energía, navegación, transporte, puertos, protección del ambiente y de los recursos naturales, entre otros, las que contienen disposiciones directa o indirectamente relacionadas con el agua. A su vez la Nación ha ratificado tratados internacionales sobre aguas compartidas, ingreso de buques nucleares en aguas argentinas, préstamos para obras de abastecimiento de agua potable y saneamiento urbano y rural, construcción de obras de uso múltiple y otros cuya normativa involucra directa o indirectamente al agua (Pochat, 2005).

A pesar de la legislación existente, durante años la GIRH en Argentina se caracterizó por una gran fragmentación sectorial e institucional que no hizo más que agudizar desequilibrios sociales y territoriales. La comunidad hídrica argentina comenzó a tomar conciencia del deterioro en la gestión de los recursos hídricos y

se vio motivada para corregir el rumbo actual del manejo de las aguas. Se sostuvo, desde un principio, en que el primer paso debería ser la creación de bases jurídicas sólidas que permitieran una gestión eficiente y sustentable de los recursos hídricos.

La visión compartida por la comunidad hídrica argentina fue que el aprovechamiento de los recursos hídricos debe realizarse armonizando los valores "social", "económico" y "ambiental" que la sociedad le adjudica al agua. También reconoce que la consideración aislada de estos tres valores puede provocar acciones antagónicas o excluyentes entre sí. Por lo tanto, concluye que la única forma de utilizar el agua en beneficio de toda la sociedad provendrá de encontrar el balance en la aplicación de estos tres valores que guían la política hídrica; que sólo será posible alcanzar a través de la participación ciudadana en los procesos de toma de decisiones. En marzo de 2003 los representantes de las jurisdicciones provinciales, suscribieron el Acta Constitutiva del Consejo Hídrico Federal (COHIFE), como ámbito de discusión, concertación y coordinación de la política hídrica en el que participan las provincias, la ciudad autónoma de Buenos Aires y la Subsecretaría de Recursos Hídricos. Desde su creación, este organismo ha desarrollado una labor de consolidación del espacio institucional y un esfuerzo de funcionamiento y desarrollo con activa participación de sus miembros. En septiembre de 2003, el COHIFE suscribió el Acuerdo Federal del Agua y los Principios Rectores de Política Hídrica, y se acordó elevarlos al Congreso Nacional para materializar una normativa a través de una ley Marco Nacional de Política Hídrica.

Durante los últimos años la sociedad argentina tomó conciencia de la vulnerabilidad y deterioro de la gestión de sus recursos hídricos, dándole la motivación para corregir el rumbo actual. Se coincidió en que el primer paso en esa dirección es definir la visión que conduzca a una base jurídica sólida que garantice una gestión eficiente y sustentable de los recursos hídricos para todo el país. Con tal fin, y a instancias de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, las provincias argentinas convocaron a los sectores vinculados con el uso, gestión y protección de sus recursos hídricos, buscando establecer la visión que indique "qué es el agua para nosotros", y al mismo tiempo señale la forma de utilizarla como "motor de nuestro desarrollo sustentable". De dicha visión se desprende que el aprovechamiento de los recursos hídricos debe realizarse armonizando los aspectos "sociales", "económicos" y "ambientales" con que nuestra sociedad identifica al agua. Se reconoce que la única forma de lograr utilizar sustentablemente el agua en beneficio de toda la sociedad provendrá de encontrar el balance justo en la aplicación de estos tres faros que deben guiar nuestra política hídrica.

Como corolario del esfuerzo mancomunado de todas las jurisdicciones en definir Principios Rectores de Política Hídrica, y a través de la instancia de consenso que posibilitó el Consejo Hídrico Federal (COHIFE), es posible en la actualidad traducir la visión lograda en una Ley Marco de Política Hídrica, coherente y efectiva, que respetando las raíces históricas de cada jurisdicción, conjugue los intereses provinciales, regionales y nacional en una gestión integrada de los recursos hídricos que minimice los conflictos relacionados con el agua.

## **5.5. Manejo de cuencas interprovinciales, internacionales e interjurisdiccionales**

El régimen fluvial de la red hidrográfica argentina (entendido como el comportamiento del caudal de los cursos de agua a lo largo del año hidrológico), salvo algunas excepciones, muestra como característica predominante su irregularidad, derivada de la incidencia de factores tales como: las variaciones sufridas por las fuentes de alimentación, la naturaleza geológica y topográfica de los terrenos surcados por los cursos de agua, su cobertura vegetal, una intensa regulación mediante obras de ingeniería, entre otros. A tal condicionante para el manejo de las cuencas hidrográficas superficiales del país, se suma el hecho de que la mayoría de los sistemas fluviales desbordan los límites jurisdiccionales, tanto entre provincias como entre naciones, de su

territorio, lo cual significa, entre otras consideraciones, restricciones al uso del agua y ciertas limitaciones —en especial en los casos en que el país se halla ubicado aguas abajo— al recibir las influencias de los usos a que el río se ve sometido en sus diferentes tramos.

Todo cuerpo de agua que trasciende los límites políticos de un Estado (provincial o nacional) es concebido como compartido; en el caso de las cuencas hidrográficas superficiales, son compartidas con plena soberanía territorial sobre la parte de la cuenca perteneciente a cada Estado. Tal concepción primaria parece la más acertada a la luz de una perspectiva jurídica y práctica, en consideración a la realidad impuesta por la natural indivisión de las aguas y la necesidad de participar del usufructo de los recursos asociados, situación que conduce a la discusión en torno a lo que se comparte: si además del curso del río principal, también se comparten sus tributarios, el agua subterránea, el resto de los recursos naturales geográficamente contenidos por la cuenca.

Así como a nivel nacional el Estado ejerce el dominio sobre las aguas que nacen y mueren dentro de su territorio, cuando se trata de cursos compartidos por dos o más Estados, éstos ejercen cierta forma de condominio o soberanía compartida de sus aguas, sobre la base de su natural indivisión.

En términos generales, se denomina internacional a la cuenca cuyo curso colector atraviesa dos o más Estados o les sirve de frontera. En tal sentido, son nacionales, los ríos que se ubican íntegramente en el territorio de un solo Estado, en tanto que son ríos internacionales, los que pueden caer bajo la soberanía de varios Estados y en diversas formas, ya sea porque separan a dos Estados o atraviesan sucesivamente a dos o más Estados. Si se trata de ríos de curso sucesivo, la determinación de la frontera entre los Estados está dada por una línea imaginaria que atraviesa el río y se conecta con los límites exteriores de las fronteras territoriales en cada un punto ubicado en cada una de las orillas; en tanto que, para el caso de ríos contiguos, la determinación de la frontera entre los Estados depende de factores geográficos físicos, tales como el comportamiento y el tamaño del río, lo cual implica una mayor complejidad en su reconocimiento.

Argentina posee varios ríos limítrofes internacionales: con Bolivia (Grande de San Juan, Bermejo, Grande de Tarija, Itaú, y Pilcomayo), Paraguay (Pilcomayo, Paraguay, y Paraná), Brasil (Iguazú, San Antonio, Pepirí Guazú y Uruguay) y Uruguay (Uruguay y de la Plata). Asimismo, importantes ríos transfronterizos o sucesivos, fluyen dentro del territorio nacional, luego de superar la frontera con el territorio de otro país, hasta su desembocadura, en condición de tercer país, como los casos de los ríos Paraná y Uruguay.

Es necesario abordar el tratamiento del marco regulatorio nacional de los recursos hídricos, puesto que se produce un proceso de influencia recíproca entre la política nacional, el derecho nacional, la política internacional y el derecho internacional, sin que sea posible realizar la división tajante entre un derecho nacional de regulación hídrica destinado a regir los temas nacionales sólo hasta la frontera y un derecho internacional que rija de las relaciones con otros estados, por cuestiones de tipo geográficas.

Uno de los escollos más importantes para la implementación práctica del concepto de Cuenca hidrográfica o de drenaje radica en que, en muchos supuestos, las cuencas hidrográficas no siguen los límites o fronteras de los estados y entonces los estados que poseen una importante porción de su territorio dentro de cuencas compartidas o transfronterizas. Ante una Cuenca que presenta esas características y adquiere la naturaleza de recurso compartido, la división entre lo nacional e internacional se torna compleja. Surge así el interrogante: ¿podrían esos estados que comparten el recurso hídrico ignorar su naturaleza en su legislación nacional? Se opta por una respuesta negativa, estos casos patentizan la necesidad de un enfoque que, respetando los

principios fundantes de cooperación entre estados, posibiliten el manejo sustentable y la gobernanza del recurso compartido.

Como ya se ha señalado, las cuencas hídricas son en su mayoría interjurisdiccionales, pues recorren más de una provincial, y en algunos casos su recorrido es internacional.

La ley 25.688 reavivó una discusión de larga data: la referida a la competencia en materia de cuencas que abarcan el territorio de diferentes jurisdicciones, es decir, la cuestión federativa de quién tiene la potestad constitucional de regular el uso compartido de las aguas que corren por más de una provincia, a la que se suma la controversia que gira en torno a quién corresponde la decisión superior cuando se suscitan disputas respecto a obras o actividades a ejecutarse en una jurisdicción que puedan afectar a otras o al manejo racional y equitativo de la unidad.

La postura inicial del Gobierno Nacional fue la asunción de facultades normativas con la finalidad de racionalizar y armonizar el manejo de las cuencas interprovinciales. Parte de la doctrina y jurisprudencia ha sostenido que el dominio del agua, sea interprovincial o no, corresponde a las provincias en que se encuentre. Sin embargo, ese dominio público de las provincias no es exclusivo, por cuanto ellas deberán permitir los usos sujetos a la legislación y jurisdicción nacional (como el navegatorio) y deben respetar las limitaciones y prohibiciones establecidas por Código Civil (art. 2646) respecto a su uso y goce. Su *jus abutendi* se halla restringido ya que no pueden pasar aguas del dominio público al privado ni degradarlas (ley 2.797). Coincidiendo con Valls se sostiene que la incorporación del agua al dominio público de las provincias es solamente un paso hacia el manejo integral de las cuencas por no concentrar el poder de decisión sino distribuirlo entre los titulares de ese dominio y el gobierno federal que ejerce la jurisdicción delegada por la Constitución Nacional. Por ello, en el caso de una cuenca interprovincial debe concurrir la voluntad de pluralidad de provincias. Solo la concertación de todas esas voluntades logra alcanzar el objetivo del manejo integral e integrado (Martínez, 2004). Las soluciones doctrinarias respecto a la regulación de las aguas y cuencas interjurisdiccionales son: 1. Regulación por el Congreso Nacional, 2. Regulación por tratado interprovincial

Los poderes públicos han adoptado, alternativamente, ambas orientaciones doctrinarias.

Desde la práctica, en la búsqueda de superar las dificultades interpretativas en lo referido a los ríos y cuencas interprovinciales, se crearon organismos federales, como ámbitos de concertación, invitando a las provincias implicadas a adherir. Por su parte las provincias utilizaron la herramienta brindada por el tratado interprovincial para acordar entre sí las normas que consideraron más adecuadas para la administración de las cuencas por ellas compartidas. También, el Estado Nacional participó con las provincias en acuerdos que dieron lugar a la creación de Comités de Cuencas Hídricas.

Asimismo, y con la finalidad de evitar inconvenientes en lo referente a la toma de decisiones derivadas de la pluralidad de normativa y jurisdicciones, se han realizado acuerdos interjurisdiccionales que adoptan la forma de ley de adhesión o de acuerdo interjurisdiccional.

Este proceso de federalismo de concertación, de desarrollo dispar, presenta distintos grados de organización institucional de organismos de cuencas hídricas interjurisdiccionales.

Los organismos interjurisdiccionales de cuenca pueden ser clasificados en dos categorías (Cavalli, 2007): los que tienen personería jurídica y los que carecen de ella.

### **Un caso paradigmático: La Cuenca Matanza-Riachuelo. La autoridad de Cuenca.**

Merece mención especial el caso de esta Cuenca, caracterizada por la superposición de varias jurisdicciones (nacional, provincial –Provincia de Buenos Aires– CABA y municipal (11 municipios). Son múltiples los órganos competentes y existe una gran diversidad de normas jurídicas dispersas de esas jurisdicciones, aplicables a la cuenca. Existieron intentos fallidos de coordinar el accionar entre las autoridades jurisdiccionales involucradas y órganos competentes.

Finalmente, y en el marco de una contienda judicial promovida como consecuencia de la difícil situación ambiental y el daño ambiental colectivo, se constituye la actual Autoridad de la Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR).

### **El ámbito internacional: Los acuerdos suscritos por Argentina**

Como se conoce, Argentina posee varios ríos limítrofes internacionales, importantes ríos transfronterizos o sucesivos y una enorme cuenca hidrográfica, con varias subcuencas.

Corresponde analizar los principales instrumentos internacionales concluidos para su regulación, atender a su alcance y los organismos constituidos para lograr los fines propuestos.

Alguno de ellos, vinculados con la gobernanza de las cuencas compartidas, son considerados por los expertos entre los más relevantes en Sudamérica (Iza, Rovere, 2006)

**Tratado de la Cuenca del Plata:** Una regulación integral para el manejo sustentable del recurso: Suscrito en Brasilia en 1969 entre Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, es un acuerdo marco para promover el desarrollo armónico y equilibrado, el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y el desarrollo sustentable de la cuenca. Adopta el concepto de cuenca, toda vez que se refiere a la “Cuenca del Plata y de sus áreas de influencia directa y ponderable”. Es considerado la piedra angular de la integración física regional, puede ser considerado como precursor, tanto en materia de protección ambiental como en la generación de una infraestructura y comunicaciones acordes con lo que, más de dos décadas después, sería el MERCOSUR.

**Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo:** Fue suscrito por Argentina y Uruguay, en Montevideo en 1973. Comprende dos partes principales: Río de la Plata y Límite Lateral Marítimo. Fuera del Río de la Plata, el Tratado regula el llamado Límite Lateral Marítimo. Crea la Comisión Administradora.

**Estatuto del Río Uruguay:** La regulación de un curso de agua compartido. El “Estatuto del Río Uruguay”, suscrito entre la Argentina y Uruguay el 26 de Febrero de 1975 reconoce como principal antecedente “El Tratado de Límites del Río Uruguay” de 1961. La Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) es un organismo internacional creado por las partes como concreción de su voluntad de ambas de institucionalizar un sistema de administración global del Río Uruguay en el tramo compartido, con el propósito de contar con un mecanismo idóneo para un “óptimo y racional aprovechamiento del Río” (Art.1°) Los diferentes usos del río requieren una regulación jurídica, por lo que la C.A.R.U ha dictado un conjunto de normas conocido como “Digesto sobre usos del Río Uruguay”.

**Acuerdo para el Aprovechamiento Múltiple de los Recursos de la Alta Cuenca del Río Bermejo y del Río Grande de Tarija:** Bajo la inspiración del Tratado de la Cuenca del Plata: En 1996, Argentina y Bolivia, haciendo uso de las facultades otorgadas por el citado Tratado, que prevé la suscripción de acuerdos específicos (art. 6),

suscribieron en Orán, Salta, República Argentina, el acuerdo tendiente a establecer un mecanismo técnico jurídico permanente, responsable de la administración de la Alta Cuenca del Río Bermejo y del Río Grande de Tarija, para impulsar el desarrollo sustentable de su zona de influencia, optimizar el aprovechamiento de sus recursos naturales, generar puestos de trabajo, atraer inversiones y permitir la gestión racional y equitativa de los recursos hídricos y constituyó la Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande de Tarija.(COBINABE).

**Acuerdo Constitutivo de la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo:** Suscripto entre Argentina, Bolivia y Paraguay en La Paz, en 1995, constituye la Comisión Tripartita, para cumplir los objetivos de la Declaración de Formosa, (1994).

**El Acta de Santiago sobre Cuencas Hidrológicas:** El eje de un sistema de instrumentos complementarios de neto corte ambiental. El manejo integral de cuencas hidrográficas. Fue suscrita por los cancilleres de la República Argentina y la República de Chile el 26 de junio de 1971. Ha servido de base al Protocolo sobre Recursos Hídricos Compartidos, adicional al Tratado sobre Medio Ambiente entre Chile y Argentina, firmado en Buenos Aires, en 1991. Este Protocolo, partiendo del concepto de manejo integral de las cuencas hidrográficas resalta el deber de no causar perjuicio a los recursos hídricos compartidos, a la cuenca común o al ambiente; establece un Grupo de Trabajo dentro de la Subcomisión de Medio Ambiente para determinar y priorizar los recursos hídricos compartidos y elaborar los planes generales de utilización; y determina la necesidad de realizar una evaluación de impacto ambiental para la introducción de especies exóticas en los recursos hídricos compartidos.

#### **El ámbito de integración regional: Mercosur**

Argentina es uno de los estados parte del Mercado Común del Sur (Mercosur), constituido por el Tratado de Asunción de 1991, al igual que Uruguay, Brasil y Paraguay. Mediante acuerdos posteriores, Chile (1996) y Bolivia (1997) han adquirido el carácter de estados asociados.

Por tanto, corresponde, para completar el panorama, atender a la principal normativa surgida en el seno del Mercosur de implicancia en la materia.

#### **Acuerdo Marco sobre Medio Ambiente del MERCOSUR**

Suscripto por los estados parte en Asunción el 22 de junio de 2001. El Acuerdo tiene por objeto el desarrollo sustentable y la protección del ambiente, mediante la articulación de las dimensiones económicas, sociales y ambientales, contribuyendo a una mejor calidad del ambiente y de la vida de la población (art. 4°).

**De una discreción justificada por la novedad y el enfoque: Acuerdo sobre el Acuífero Guaraní en el marco del Mercosur.** El Acuífero Guaraní, con una extensión calculada en más de un millón de Km<sup>2</sup>, es uno de los reservorios de agua subterránea más grandes del mundo. Es un recurso compartido entre los estados parte del Mercosur. El acuerdo fue suscripto, en el 39º Encuentro Regional de Presidentes del Mercosur realizado en San Juan, República Argentina el 2 de agosto de 2010. La importancia del instrumento radica en que en pocos años el Mercosur logró sancionar un verdadero Estatuto para el Sistema Acuífero Guaraní. La asignatura pendiente del instrumento es su silencio respecto a la gestión conjunta e integrada del agua subterránea con las demás aguas de la cuenca en que yace, su valor destacable es haber provisto al Acuífero Guaraní un verdadero estatuto.

## 5.6. Economía del medio ambiente. El valor del medio ambiente

Reconocer que el agua es un bien que tiene valor económico implica entender que es necesario aplicar los principios económicos a su estudio y a la organización de su utilización, con el fin de lograr su buena gestión y administración. Esto no significa que necesariamente se deba poner un precio al agua. Implica que la gestión debe tener en cuenta los costos y beneficios, económicos, sociales y ambientales –tanto directos como indirectos– asociados con los distintos usos y con las restricciones impuestas sobre ellos para proteger la salud, la seguridad de las personas y el ambiente.

Por ejemplo, la imputación incorrecta de los costos ha contribuido en muchos casos a la degradación de los recursos y del ambiente. Si sólo se toman en cuenta los costos declarados por los usuarios, o los determinados por intereses parciales, sin incluir todos los costos que efectivamente son pagados por la sociedad en su conjunto, el uso del recurso no será sostenible.

Un mecanismo alternativo al sistema de mercado, que permite sopesar todos los beneficios y todos los costos que una sociedad enfrenta a la hora de gestionar adecuadamente los recursos hídricos, es la gestión integrada, que significa procurar la participación en las decisiones importantes de todos los sectores afectados. Este mecanismo no asegura que se llegará a decisiones óptimas, pero sí que las decisiones se basarán en la coordinación entre todos los afectados por interrelaciones que, por ser complejas, no pueden ser resueltas mediante las herramientas de la investigación operativa y del análisis de sistemas.

La razón principal por la cual es difícil organizar mercados de agua es que ésta no es un bien homogéneo, porque en la mayoría de los procesos relacionados con su aprovechamiento, su calidad y su localización cambian continuamente.

El agua potable que consume la mayoría de las familias argentinas, es un producto de una naturaleza sumamente compleja. En primer lugar, se trata de un bien de primera necesidad, imprescindible para la vida humana, ya que la misma es imposible de desarrollar en la carencia de agua. Esta naturaleza se refleja en una demanda altamente inelástica frente al precio o el ingreso.

En segundo lugar, se trata de un bien escaso y, como tal, susceptible de valoración eco-nómica. “La escasez es un concepto relativo, en el sentido de que existe un deseo de adquirir una cantidad de bienes y servicios mayor que la disponible” (Mochon y Becker, 1993). Este problema obliga a las personas a elegir la forma que adoptarán sus decisiones de consumo para satisfacer sus necesidades, virtualmente ilimitadas.

En tercer lugar, su distribución puede transformarse en un vehículo productor de epidemias, intoxicaciones colectivas y distintos tipos de enfermedades, vinculando el agua potable a la acción indelegable del Estado tendiente a disminuir los riesgos y las enfermedades de la población.

Es además de muy fácil contaminación, ya sea por hechos antrópicos o por factores naturales. Junto con el aire sufre el impacto de las externalizaciones y los procesos de urbanización. Ello lo sujeta a las regulaciones y políticas de conservación del medio ambiente.

El servicio de distribución urbana de agua presenta importantes barreras de entrada, de naturaleza económica y tecnológica, para las empresas que pudieran estar interesadas en competir por esos mercados. Existirá, al menos con las tecnologías actuales, una única empresa abastecedora. Se trata de uno de los típicos monopolios naturales que requiere de una regulación estatal.

Todas éstas causales justificaron la acción del Estado en el abastecimiento y distribución de agua potable y su concepción como esencial servicio público. Ante esta complejidad relativa, Cual es la forma jurídica y económica más apta para la prestación del servicio?.

Hernández Muñoz (1993) describe las distintas formas de gestión de los servicios de abastecimiento de agua potable, encuadrándolas en tres grandes grupos: a) Gestión directa: Se presenta cuando un organismo del Estado, que bien puede ser la administración central, entidades descentralizadas o una empresa pública, realiza la gestión del servicio. En la República Argentina ésta fue originariamente la principal forma de prestación, asumiendo el Estado, la mayoría de las veces el provincial, esta función empresaria, b) Gestión mixta: La prestación está a cargo de un organismo donde participa el Estado asociado con particulares; y, c) Gestión indirecta: El servicio está a cargo de un ente privado, es hoy probablemente la principal forma de prestación en las grandes ciudades de la República Argentina, como consecuencia del profundo proceso de privatización vivido con posterioridad a la sanción, en 1989, de la Ley de Reforma del Estado.

En el marco de la gestión indirecta, en la República Argentina se presentó un caso especial de organización cuando, en muchas localidades pequeñas, ante la imposibilidad de su atención por el Estado, los vecinos se agrupan como cooperativa de consumidores para auto prestarse el servicio.

Un segundo caso, ocurre cuando el Estado financia o construye la infraestructura necesaria, para posteriormente concederla a una cooperativa de usuarios preexistente, normalmente constituida para la prestación del servicio eléctrico. Es el caso de La Pampa, fomentando inclusive, en algunos casos, la creación de las cooperativas.

La década pasada, caracterizada por una profunda modificación teleológica del Estado que incentivó un agudo proceso privatizador, recibió un notorio impulso la gestión indirecta. A pesar de que en su anexo la Ley de Reforma del Estado preveía una preferencia cooperativa en las privatizaciones de la electricidad, gas, agua y saneamiento, la tónica que se impuso mediante los marcos regulatorios y los pliegos de privatización fue la de las empresas lucrativas. Las cooperativas de usuarios se encontraron en desventaja frente a la potencia del capital lucrativo que, en muchos casos, presenta un origen transnacional. La preferencia legal se transformó en un texto muerto.

En la ciudad de General Pico, segunda en cantidad de habitantes de la Provincia de La Pampa, se produjo el único proceso privatizador donde la cooperativa de servicios públicos local logró imponer sus condiciones frente a capitales privados, transformándose en la prestadora del servicio, con notorias mejoras frente a la actividad que realizaba el municipio local.

Las cooperativas de usuarios de agua potable o cooperativas de servicios públicos, ya sean específicamente creadas, concesionadas en forma directa o a través de un proceso licitatorio, constituyen un objeto digno de estudio. La hipótesis que sustentamos es que se trata de una alternativa de gestión que ofrece verdaderas ventajas frente a las otras formas enunciadas en párrafos anteriores.

Desde la experiencia de la Cooperativa Eléctrica de Punta Alta (Pcia. de Bs. As) en 1926, pionera de este tipo de entidades asociativas de usuarios de un servicio público para auto prestárselo, el cooperativismo de servicios públicos ha estado en permanente crecimiento. Iniciada a fines del siglo XIX, el movimiento se consolida en la década del 20 y su origen se encuentra en la lucha por abaratar el costo de electricidad suministrada por empresas extranjeras. Las cooperativas eléctricas se multiplicaron y el movimiento se extendió. Aparecieron cooperativas de teléfonos, de gas, de agua potable, de desagües cloacales, de desagües pluviales y de

transporte. Algunas de ellas se transformaron en multiactivas, es decir, prestadoras de más de un servicio de esta naturaleza y, en la búsqueda de escala, también incursionaron por otros negocios (plantas lácteas, comercialización de miel, criaderos de cerdos, salud, etc.).

Las cooperativas de servicios públicos, son sujetos de derecho con todos los alcances de este concepto. El objetivo no es la realización de aportes con el propósito de repartirse las ganancias, sino el organizar y prestar servicios a sus asociados basándose en el esfuerzo propio y la ayuda mutua. Son entidades solidarias que, por el mecanismo de la asociación, procuran obtener un menor precio y una mayor calidad. Su finalidad no es el lucro en la entidad, sino el mayor beneficio en el servicio al asociado.

La cooperativa es intrínsecamente incapaz de producir lucro. Los que obtienen un provecho o una ganancia son los asociados. La misma consiste en un ahorro de gastos o en la eliminación de un quebranto. Esta razón condiciona la existencia de la entidad solidaria, ya que si sus asociados, individualmente o a través de terceros, pueden lograr las mismas ventajas que logran cooperando, no habría necesidad alguna de cooperativa.

Puede ocurrir que la cooperativa obtenga excedentes, pero a través del mecanismo legal del retorno queda garantizada su finalidad de no lucro. El excedente eventual tiene un claro destino, fijado por la propia ley de cooperativas y, cada asociado recibirá la parte que le corresponda según las operaciones que haya realizado. Por dichos motivos se afirma que los usuarios asociados obtienen un precio justo.

Aunque existen desarrollos teóricos interpretando como innecesaria la concesión, en la práctica, todas las prestaciones cooperativas están basadas en este contrato. El mismo está asentado sobre la existencia de tres sujetos bien diferenciados: a) El Estado, supuestamente titular del servicio y tutor del bien común, b) El usuario, cliente o consumidor, destinatario final del servicio, a quien por su carácter general y con frecuencia débil, debe el Estado proteger, y c) El concesionario, a quien el Estado debe autorizar a prestar el servicio con arreglo a determinadas condiciones que eviten el abuso en detrimento del usuario. Es evidente que este enfoque no toma en cuenta las cooperativas, donde los sujetos segundo y tercero son coincidentes y no cabe esperar el abuso por parte de las cooperativas. No obstante, el contrato de concesión es el único utilizado y aparece como un “arbitrio jurídico adecuado para lograr la prestación del servicio sin que el Estado pierda su carácter de titular.” (Cracogna, 1987).

En Argentina existía consenso en torno a la necesidad de privatizar. La ineficiencia de-mostrada por las empresas del Estado había llevado a la población hasta el hastío. Una larga propaganda acerca de las ventajas de un cambio profundo en el sistema caló hondo en el inconsciente colectivo. “El pueblo estaba preparado para el cambio. La historia iba a demostrar, sin embargo, que no todos los dirigentes lo estaban. El momento histórico permitía ensayar una transformación que asegurara una participación protagónica de los usuarios a través de mecanismos apropiados, pero lamentablemente esto no fue posible.” (Carello, 1994) “Particularmente coincido en que se perdió una posibilidad histórica de asignar a las cooperativas un papel trascendente en el proceso de transformación. No existió, en rigor, ni voluntad política en el Gobierno para asignárselo, ni el cooperativismo estaba preparado para exigirlo, con otros fundamentos que los doctrinarios y los de su honrosa historia.” (Carello, 1994). Esas fueron las características del proceso de privatizaciones en Argentina, pero no fue la situación de la provincia de La Pampa, donde hubo una única licitación para privatizar servicios de distribución de agua potable y saneamiento urbano adjudicada a la cooperativa de General Pico. En el resto de las localidades, si la prestación no es municipal, el servicio está a cargo de una cooperativa.

Se considera preferible la forma cooperativa para la prestación de servicios públicos, porque:

- a) En Argentina la empresa estatal no tiene claro sus objetivos, no conoce si institucionalmente debe arrojar utilidades o soportar quebrantos. No realiza balances ni rinde cuentas de su gestión. No maneja parámetros de eficiencia y la toma de decisiones está sujeta a criterios políticos que, en la mayoría de los casos, son ajenos a razones económicas. Su gestión fue ineficiente. Sus resultados, en términos de calidad de producto y servicio, de precio y déficit fiscal fueron tan malos, que nadie asumió su defensa cuando fueron extinguidas;
- b) la empresa lucrativa no padece de los defectos indicados para las estatales y en Argentina, en el corto trayecto posterior a las grandes privatizaciones, demostraron una calidad y eficiencia superior a la empresa pública; no obstante los resultados esperados no fueron satisfactorios. Los entes regulatorios no se presentan como eficaces para ejercer el debido control de una empresa que es un monopolio natural y presta un servicio esencial, con una demanda altamente inelástica. Quienes recuerdan experiencias anteriores de privatizaciones, conocían el riesgo de concesionar el monopolio natural a una empresa que es maximizadora de sus utilidades y opera en condiciones de prevalencia. En general, podemos inferir que ocasionaron consecuencias negativas sobre el bienestar general y contribuyeron al incremento del desempleo y la pobreza. Según la teoría económica del monopolio, el precio será mayor, la cantidad ofrecida resulta menor y las inversiones a realizar serán sólo las suficientes como para cumplir sus metas maximizadoras de las ganancias. Además, sus niveles superiores de gestión operan en grandes centros poblados alejados de sus usuarios, con la consecuencia que sus quejas sólo logran la escucha de un empleado amparado en un reglamento.
- c) Por el contrario, las cooperativas son empresas sociales, que tienen claro su objetivo y pueden ser eficientes. Deben presentar balance y anualmente rendir cuentas de sus acciones ante los asociados, que son sus clientes. Si bien actúan en condiciones de mono-polio, al no intentar maximizar sus utilidades, encuentra el equilibrio empresario más cerca del nivel de competencia perfecta, lo que significa una mejora en la eficiencia social desde el punto de vista de Pareto. Su toma de decisiones está cercana a los costos medios más que fundadas en el principio marginalista, significando valores menores que los monopólicos y mayor cantidad ofrecida de producto. Son entes autogestionados por los propios clientes a través de procesos democráticos y duración limitada de sus mandatos, razón por la cual no cabe esperar una actitud de explotación del usuario. Pero además, la legislación prevé mecanismos de control para evitar que un grupo de asociados o los gerentes puedan tener mal desempeño de su gestión o capturen la organización en provecho propio. En ese sentido, el síndico es una figura clave que debe velar por los asociados clientes y evitar cualquier manipulación.

Estas ventajas teóricas de las cooperativas distribuidoras de agua potable son ratificadas por lo ocurrido en la pampeana ciudad de General Pico. Hasta 1995 el servicio de agua potable era prestado desde la administración central del municipio. Su prestación era de mala calidad, había padecido reiterados colapsos que indignaban a la población y sus resultados eran deficitarios. En ese marco se decidió convocar a un proceso licitatorio para su concesión a entes privados. Al mismo concurren una corporación transnacional de origen italiano especializado en servicios de agua, aunque en la República Argentina su mayor actividad es el servicio domiciliario de gas y la cooperativa local de servicios públicos (se dedica a electricidad, alumbrado de paseos y calles y servicios sociales). Después de un proceso controvertido, la autoridad política eligió la cooperativa. En febrero de 1996 comenzó la prestación solidaria con un importante programa de inversiones: ampliación del 25% de la capacidad de extracción de agua, construcción de tramos de acueducto necesarios para habilitar los nuevos pozos, instalación de un sistema de seguridad en zona de desinfección del agua, censar las conexiones e instalar medidores donde no los había, transformar el padrón de contribuyentes desde los titulares del inmueble a los consumidores del servicio, sin interesar si son propietarios, inquilinos o poseedores por cualquier otro título, automatización del sistema de extracción de agua, automatización del sistema de cisternas y de abastecimiento a la red de distribución, instalación de laboratorio de control de calidad,

organización de sistema de medición y estadísticas. En muy poco tiempo disminuyó en forma notoria la pérdida de agua en red y se realizaron estudios de demanda que permitieron programar la prestación de modo que el sistema no volviera a colapsar. La prestación cooperativa incrementó los niveles de calidad del producto, servicio y facturación. Se atendieron situaciones particulares y se llegó a la interrupción del servicio cuando correspondía. El cuadro de resultados sectorial arrojó excedentes razonables que fueron reinvertidos sin necesidad de aumentar las tarifas existentes al momento de la transferencia. Por último, se organizaron equipos de atención de asociados que permiten la asistencia inmediata de emergencias o fallas durante todo el día.

Son evidentes las ventajas demostradas frente la prestación municipal anterior. No existe posibilidad de realizar la misma comparación con una prestación lucrativa, pero puede servir como parámetro algunas acciones que en el servicio de gas natural realiza el sujeto que compitió en la privatización del servicio: la atención de emergencias es realizada desde otras ciudades, fue demandada ante el organismo de control por facturaciones indebidas, debiendo reintegrar importes, en casos de mora de algún usuario obliga a constituir un fondo de garantía para afrontar probables incumplimientos, los precios se encarecieron y los reclamos son atendidos por empleados que muchas veces no pueden dar respuesta.

Resulta apreciable, al menos en el campo del funcionamiento ideal, que las cooperativas ofrecen notorias ventajas para la prestación de servicios públicos monopólicos, entre los que se encuentra el abastecimiento de agua potable a una ciudad. Pero no podemos desconocer, como dice Carello (1994), que el proceso privatizador puso de manifiesto deficiencias cooperativas: a) La magnitud de determinados emprendimientos que exceden la capacidad económica, financiera y técnica de las cooperativas, b) la dispersión, tanto geográfica como operativa y económica, que conspira contra toda posibilidad de organizarse en forma rápida y eficiente. c) la necesidad de financiamiento y las dificultades para obtener créditos en forma rápida y costos razonables, y d) el déficit de gerencia, probablemente el problema de mayor importancia.

Además, es posible encontrar gestiones no imbuidas de los principios cooperativos, con culturas empresarias altamente burocratizadas, resistentes al cambio y a las adaptaciones que la dinámica de los mercados exige hoy en día. Es común que el asociado de las cooperativas de servicios públicos realice su asociación con el único fin de acceder a la prestación que necesita. Muchas veces carece de lo que las normas jurídicas llaman "affectio societatis", es decir, la voluntad de participar de modo libre y con un espíritu inspirado en los principios cooperativos. En muchos casos no le interesa la vida interna de las entidades, situación que permite deformaciones que desnaturalizan las ventajas teóricas. La obligación de asociarse, los transforma en cautivos más que asociados, y la relación con el ente cooperativo queda planteada como si fuese una relación de mercado. Sus juicios sobre la cooperativa no difieren de los juicios que emiten sobre empresas lucrativas concesionarias (Balestri, 1997).

Para hacer realidad las ventajas teóricas, muchas cooperativas deberán reconvertir la empresa, transformar su cultura y orientarla al cliente, en este caso, su asociado y razón de ser. Hay muchas que ya avanzaron en este sentido y son verdaderos ejemplos. Deberán medir la conformidad de sus asociados, asumiendo una actitud de servicio y descubriendo en forma anticipada los riesgos y las posibilidades presentes y futuras. Tener siempre presente que las jurisdicciones sobre las cuales hoy existe una concesión, son apetecibles para quienes presten servicios similares en zonas cercanas o que pueden aparecer nuevas tecnologías que rompan las barreras de entrada del monopolio natural, como ocurrió en el terreno de la telefonía.

Si las cooperativas logran ser competentes en sus objetivos, eficientes y eficaces en sus prestaciones y capaces de brindar servicios de calidad que satisfagan convenientemente a sus asociados clientes, no deberían tener problemas, estarán haciendo realidad las ventajas teóricas.

Por último, no cabe duda que en la gestión de las cooperativas resultará beneficiado el medio ambiente, pues son entes capaces de gestionar basados en un enfoque ecosistémico (Aguilera Klink, 1998) que consiste en beneficiarse del trabajo de los procesos naturales. El autor sugiere “abrir un debate sobre el agua creando foros de discusión que permitan consolidar una adecuada comprensión colectiva sobre los problemas que afectan a este recurso; proporcionar incentivos a la gestión de la demanda de agua con el fin de mejorar la eficiencia técnica en las redes de distribución y en los niveles de consumo, frente al "negocio" de los nuevos actores (esencialmente corporaciones transnacionales) de incentivar el consumo”, y “ajustar los derechos sobre el agua al volumen de extracción que es sostenible”. Es claro que sustituir, cuando sea posible el esfuerzo humano por la economía de la naturaleza, es la esencia del buen sentido, tanto económico como ecológico.

**MÓDULO 6.** Calidad del Agua. Demanda del agua. El agua y sus usos. Agua potable, riego, pecuario, etc. El Sistema Recursos Hídricos urbanos y rurales. Sequías e Inundaciones. Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos en La Argentina: Casos de Estudio.

---

## **6. CALIDAD DEL AGUA**

El agua es un elemento insustituible para el sostenimiento de la vida humana y el resto de los seres vivos, siendo al mismo tiempo un insumo imprescindible en innumerables procesos productivos. A pesar de ser renovable, la escasez del agua se manifiesta gradualmente a medida que aumentan las demandas y conflictos por su uso. Su carácter de vulnerable se manifiesta en la creciente degradación de su calidad, lo cual amenaza la propia existencia de la vida.

Toda el agua que se utiliza, ya sea que provenga de una fuente atmosférica, superficial o subterránea, debe ser tratada como parte de un único recurso, reconociéndose así la unicidad del ciclo hidrológico y su importante variabilidad espacial y temporal. La conectividad hidrológica que generalmente existe entre las distintas fuentes de agua hace que las extracciones y/o contaminaciones en una de ellas repercutan en la disponibilidad de las otras. De ello se desprende la necesidad de que el Estado ejerza controles sobre la totalidad de las fuentes de agua, dictando y haciendo cumplir la normativa para el aprovechamiento y protección de las diversas fuentes de agua como una sola fuente de suministro.

Mantener y restaurar la calidad de las aguas constituye la meta de la gestión hídrica más valorada por la sociedad, lo cual demanda una efectiva complementación de las acciones desarrolladas por las autoridades hídricas provinciales y nacionales en ese sentido. Con tal fin, la autoridad hídrica nacional establecerá a modo de presupuestos mínimos “niveles guía de calidad de agua ambiente” que sirvan como criterios referenciales para definir su aptitud en relación con los usos que le sean asignados. Sobre la base de tales criterios las autoridades hídricas provinciales tendrán el cometido de establecer objetivos y estándares de calidad para sus cuerpos de agua y el de diseñar e implementar las acciones de evaluación y control tendientes a proteger o restaurar la calidad de sus cuerpos de agua de acuerdo a los usos que le asignen a los mismos.

### **6.1. El agua y sus usos**

La calidad del agua es un concepto tan importante como el de la cantidad de agua, ya que puede llegar a decidir si esta es apta o no para un determinado uso o si el tratamiento correctivo necesario va a ser técnica y económicamente viable. Por este motivo, el concepto de calidad va ligado íntimamente a dos aspectos fundamentales: los condicionamientos naturales que modifican o controlan la composición química de las aguas; así como, el uso que se pretende dar a dicha agua, y las políticas de gestión y planificación asociadas a dicho recurso.

Como ya se ha expresado, desde el punto de vista de la gestión del recurso hídrico, la valoración de la calidad del agua está muy ligada al uso que se le quiera dar. De hecho, no es igual el enfoque de un estudio que trate de valorar el agua para suministro urbano como el que se realizaría para uso industrial o agrícola. El hecho de la existencia de una calidad natural o intrínseca de las aguas subterráneas, provoca que hasta la fecha, las normas de calidad de las aguas, se enfoque para cada uso en concreto. En ese sentido, el uso que goza de mayor protección, está dirigido para el consumo humano y en concreto para usos minero-medicinales, mientras que

los usos agrícolas o ganaderos, se mueven más en el ámbito de las recomendaciones. Dada su gran variabilidad, los usos industriales del agua subterránea no suelen presentar normas generales de calidad.

1. Uso para consumo humano y doméstico, abastecimiento de poblaciones y municipal.
2. Uso agrícola y para regadíos.
3. Uso pecuario (animal).
4. Uso industrial.
5. Uso energético.
6. Uso minero.
7. Uso medicinal.
8. Uso acuícola.
9. Uso recreativo.

**a) Aguas para consumo humano**

El estudio de la calidad del agua destinada a ser consumida por el hombre ha sido, y es, de primordial importancia, interviniendo en el mismo, muchos factores que pueden afectarla, ya sea de manera inmediata o diferida. Para definir la calidad que debe tener el agua destinada al consumo humano es importante adoptar criterios. Un grupo de investigadores de la Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que el término “criterio” designa la relación entre la exposición a un contaminante o a otro factor, y el riesgo o la magnitud de efectos indeseables en circunstancias específicas definidas por variables del ambiente y del “blanco”, siendo este el receptor – organismo, población o la fuente a ser protegida de un riesgo específico. Es decir, adoptar un criterio de calidad de agua de bebida significa conocer la relación entre la exposición y la frecuencia que se espera que un efecto indeseable para la salud pueda ocurrir. Como riesgo implica la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso sobre la salud humana, el análisis del riesgo debe llevarse a cabo de manera tal que se entienda la naturaleza y magnitud del efecto no deseado.

Concepto de Agua Potable

De modo general se denomina potable a aquella agua que puede ser consumida por el hombre sin peligro alguno para su salud. Ello supone tener en cuenta las características del agua, ya sean físicas, químicas, bacteriológicas, etc., definiendo criterios de calidad para cada una de ellas.

Normas de Potabilidad

La aparición y evolución de reglamentaciones que limitan la utilización del agua para la bebida, han seguido los pasos que la investigación ha ido desarrollando y que se extiende no solo a los efectos que los distintos elementos puedan tener en el organismo humano, sino también a los sistemas de análisis y determinaciones que permiten su detección y cuantificación de manera precisa e inequívoca. La tendencia mundial es a la normalización de las reglamentaciones existentes, no solo en lo que atañe a la fijación de unos límites admisibles de las características del agua, sino también en lo referente a la metodología de tomas de muestras, frecuencia de las mismas y métodos de análisis a utilizar.

Todos los países tienen legislaciones relacionadas con las aguas de consumo humano, las que sirven para determinar las responsabilidades de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable o agua de bebida (términos equivalentes), de su monitoreo y de su control. Los países cuentan asimismo, con reglamentaciones que definen lo que se entiende por agua potable; es decir, los patrones que

ésta debe seguir para que la misma sea inocua para la salud humana. Dentro de esas reglamentaciones de cada país, hay una muy específica que se denomina la "Norma de Calidad de Agua de Bebida". Allí se establece qué sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles que no signifiquen riesgo para la salud.

No existe ningún país que no considere como herramienta principal para la confección y actualización periódica de sus Normas Nacionales, a las Guías OMS para la calidad del Agua Potable. Por supuesto que no todos los contaminantes que figuran en las guías están presentes en las aguas de abastecimiento, por lo tanto, cada país deberá seleccionar cuidadosamente que parámetros incluirá en sus normas de calidad, atento a las sustancias que se utilicen en la industria, actividad agropecuaria, en los procesos de potabilización de las aguas, factores económicos y avances tecnológicos. De nada sirve proponer normas de calidad de aguas que establezcan límites para una infinidad de parámetros, si luego, su identificación se hace impracticable por no poder contar todos los laboratorios de control de calidad con el instrumental necesario o, a veces, con el personal adiestrado para su manejo.

La Organización Mundial de la Salud adoptó en 1963 el criterio de dividir las características del agua en cuatro grupos, para cada parámetro de cada grupo propone valores de concentraciones que de sobrepasarse supondrían la No - Potabilidad del agua.

1. Características Físicas – Químicas
  - a. Sustancias que pueden afectar a la salud
  - b. Sustancias que afectan la potabilidad
  - c. Sustancias tóxicas
  - d. Indicadores de polución
2. Bacteriológicas
3. Biológicas
4. Radioactivas

La OMS publicó en 1985 la primera edición de las "Guías para la calidad del agua de bebida". En 1988 la OMS comienza la revisión de las guías poniendo mayor énfasis en los riesgos para la salud que ocasionan los químicos presentes en el agua de bebida. Se publica entonces, en 1995, la segunda edición de las guías, incluyendo muchos contaminantes que no estaban contemplados en la edición anterior y además fueron modificados los valores guías de algunos contaminantes debido a los avances en los estudios científicos. Actualmente están en vigencia las Guías OMS 2006. Toda la información que proveen las Guías OMS se presenta bajo tres aspectos:

- **Recomendaciones**

- ✓ Se exponen los valores guía para numerosos contaminantes del agua relacionados con la calidad del agua potable.
- ✓ Se explica la forma en que deberían aplicarse los valores guía, los criterios utilizados para seleccionar los diversos contaminantes químicos, físicos, microbiológicos y radiológicos considerados; se describe los métodos utilizados para obtener los valores guía, así como breves exposiciones resumidas en las

que se fundamentan los valores guía recomendados o se explica por qué no es necesario en la actualidad, un valor guía basado en la salud.

- ✓ Se exponen los valores guía en capítulos dedicados a contaminantes microbiológicos, químicos (se tiene en cuenta sustancias que representan un peligro potencial para la salud humana y que se detectan con bastante frecuencia y en concentraciones relativamente altas en el agua de bebida; también se examinan desinfectantes y productos derivados de los mismos) y radiológicos.
- ✓ Se estudian los componentes físicos, inorgánicos y orgánicos que pueden suscitar quejas a los consumidores (apariencia, sabor, olor, etc.).
- ✓ Por último, se explican los métodos de protección y mejoramiento de la calidad del agua, incluida la selección y protección de las fuentes de agua, la elección de los procesos de tratamiento, la protección de las redes de distribución y el control de la corrosión.

- **Criterios relativos a la salud y otra información de base**

Se detallan los criterios aplicables a cada sustancia o contaminante; toda la información clínica, epidemiológica y sanitaria que respalda la elección de los parámetros y el valor de sus concentraciones.

Se describen cada parámetro, bajo que rutas y en la forma como se verifica la exposición y la infección en el ser humano; el significado específico que tiene la exposición a través del agua; los efectos sobre la salud humana y como se ha llegado al valor guía recomendado.

- **Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad**

Se describen los métodos empleados en la vigilancia de la calidad del agua teniendo en cuenta los problemas especiales de los sistemas de abastecimiento para las pequeñas comunidades, en particular las de los países en desarrollo, y se exponen las estrategias para conseguir que la vigilancia sea eficaz. También se examinan los vínculos entre vigilancia y acción correctiva.

a) Valor guía

Las Guías OMS giran alrededor del concepto de valor guía, que sirve para estimar la calidad del agua de bebida. Un valor guía representa la concentración de un componente que no supone un riesgo significativo para la salud del consumidor si éste bebe el agua durante toda su vida. La calidad definida en las Guías para la calidad del agua potable, es la adecuada para el consumo humano y para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal. Las desviaciones por un periodo breve durante el cual se sobrepasan los valores guía, no significan necesariamente que el agua no sea apta para el consumo. La proporción en que pueda rebasarse un valor guía y el periodo durante el cual pueda prolongarse esta situación sin que ello repercuta en la salud pública dependerá de la sustancia de que se trate. El objeto de los valores guía, es servir de base para la elaboración de normas nacionales que, debidamente aplicadas, aseguren la inocuidad del agua abastecida, mediante la eliminación o la reducción a una concentración mínima de los componentes considerados peligrosos para la salud. Los valores guía recomendados no son límites obligatorios. Para definir límites de ese tipo, es necesario considerar los valores guía en el contexto de las condiciones locales o nacionales de carácter ambiental, social, económico y cultural.

b) Código Alimentario Argentino

La normativa en nuestro país con respecto al agua para suministro público y de uso domiciliario, está regida por el Código Alimentario Argentino (CAA). En su Capítulo 12, Bebidas Hídricas, Aguas y Aguas Gasificadas,

define las características físicas, químicas (sustancias inorgánicas y contaminantes orgánicos) y microbiológicas que debe cumplir el agua para ser considerada Agua Potable de suministro público y Agua Potable de uso domiciliario.

*Código Alimentario Argentino Actualizado (2012). Capítulo 12 .Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada.*

### **Agua Potable**

“Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios”. Ambas deberán cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas siguientes:

Características físicas:

Turbiedad: máx. 3 NTU

Color: máx. 5 escala Pt-Co

Olor: sin olores extraños

Características químicas:

pH: 6,5 - 8,5; pH sat.:  $\text{pH} \pm 0,2$

Substancias inorgánicas:

Amoníaco ( $\text{NH}_4^+$ ) máx.: 0,20 mg/l;

Antimonio máx.: 0,02 mg/l;

Aluminio residual (Al) máx.: 0,20 mg/l;

Arsénico (As) máx.: 0,01 mg/l;

Boro (B) máx.: 0,5 mg/l;

Bromato máx.: 0,01 mg/l;

Cadmio (Cd) máx.: 0,005 mg/l;

Cianuro ( $\text{CN}^-$ ) máx.: 0,10 mg/l;

Cinc (Zn) máx.: 5,0 mg/l;

Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) máx.: 350 mg/l;

Cobre (Cu) máx.: 1,00 mg/l;

Cromo (Cr) máx.: 0,05 mg/l;

Dureza total ( $\text{CaCO}_3$ ) máx.: 400 mg/l;

Fluoruro ( $\text{F}^-$ ): para los fluoruros la cantidad máxima se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida:

- Temperatura media y máxima del año ( $^{\circ}\text{C}$ ) 10,0 - 12,0; contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,9; límite superior: 1, 7:

- Temperatura media y máxima del año ( $^{\circ}\text{C}$ ) 12,1 - 14,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8; límite superior: 1,5:

- Temperatura media y máxima del año (°C) 14,7 - 17,6; contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8; límite superior: 1,3;  
- Temperatura media y máxima del año (°C) 17,7 - 21,4; contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), Límite inferior: 0,7; límite superior: 1,2;  
- Temperatura media y máxima del año (°C) 21,5 - 26,2, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,7; límite superior: 1,0;  
- Temperatura media y máxima del año (°C) 26,3 - 32,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,6; límite superior: 0,8;  
Hierro total (Fe) máx.: 0,30 mg/l;  
Manganeso (Mn) máx.: 0,10 mg/l;  
Mercurio (Hg) máx.: 0,001 mg/l;  
Níquel (Ni) máx.: 0,02 mg/l;  
Nitrato (NO<sub>3</sub>-) máx.: 45 mg/l;  
Nitrito (NO<sub>2</sub>-) máx.: 0,10 mg/l;  
Plata (Ag) máx.: 0,05 mg/l;  
Plomo (Pb) máx.: 0,05 mg/l;  
Selenio (Se) máx.: 0,01 mg/l;  
Sólidos disueltos totales, máx.: 1500 mg/l;  
Sulfatos (SO<sub>4</sub>=) máx.: 400 mg/l;  
Cloro activo residual (Cl) mín.: 0,2 mg/l.

La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario. Para aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, se establece un plazo de hasta **5 años para adecuarse al valor de 0,01 mg/l**.

**(Modificado por Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012):** Prorrogase el plazo de cinco (5) años previsto para alcanzar el valor de 0,01 mg/l de arsénico hasta contar con los resultados del estudio “Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la República Argentina – Estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en cobertura y calidad de aguas” cuyos términos fueron elaborados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planificación Federal.

#### Características Microbiológicas:

Bacterias coliformes: NMP a 37 °C- 48 hs. (Caldo Mc Conkey o Lauril Sulfato), en 100 ml: igual o menor de 3.  
Escherichia coli: ausencia en 100 ml.  
Pseudomonas aeruginosa: ausencia en 100 ml.

En la evaluación de la potabilidad del agua ubicada en reservorios de almacenamiento domiciliario deberá incluirse entre los parámetros microbiológicos a controlar el recuento de bacterias mesófilas en agar (APC - 24 hs. a 37 °C): en el caso de que el recuento supere las 500 UFC/ml y se cumplan el resto de los parámetros indicados, sólo se deberá exigir la higienización del reservorio y un nuevo recuento. En las aguas ubicadas en los reservorios domiciliarios no es obligatoria la presencia de cloro activo.

#### Contaminantes orgánicos:

THM, máx.: 100 ug/l;  
Aldrin + Dieldrin, máx.: 0,03 ug/l;

Clordano, máx.: 0,30 ug/l;  
 DDT (Total + Isómeros), máx.: 1,00 ug/l;  
 Detergentes, máx.: 0,50 mg/l;  
 Heptacloro + Heptacloroepóxido, máx.: 0,10 ug/l;  
 Lindano, máx.: 3,00 ug/l;  
 Metoxicloro, máx.: 30,0 ug/l;  
 2,4 D, máx.: 100 ug/l;  
 Benceno, máx.: 10 ug/l;  
 Hexacloro benceno, máx.: 0,01 ug/l;  
 Monocloro benceno, máx.: 3,0 ug/l;  
 1,2 Dicloro benceno, máx.: 0,5 ug/l;  
 1,4 Dicloro benceno, máx.: 0,4 ug/l;  
 Pentaclorofenol, máx.: 10 ug/l;  
 2, 4, 6 Triclorofenol, máx.: 10 ug/l;  
 Tetracloruro de carbono, máx.: 3,00 ug/l;  
 1,1 Dicloroeteno, máx.: 0,30 ug/l;  
 Tricloro etileno, máx.: 30,0 ug/l;  
 1,2 Dicloro etano, máx.: 10 ug/l;  
 Cloruro de vinilo, máx.: 2,00 ug/l;  
 Benzopireno, máx.: 0,01 ug/l;  
 Tetra cloro eteno, máx.: 10 ug/l;  
 Metil Paratión, máx.: 7 ug/l;  
 Paratión, máx.: 35 ug/l;  
 Malatión, máx.: 35 ug/l.

Los tratamientos de potabilización que sea necesario realizar deberán ser puestos en conocimiento de la autoridad sanitaria competente.

**b) Aguas para uso agrícola y regadíos**

El agua de riego contiene determinadas sales que se añaden a las ya existentes en el suelo. Las sales que interesan son aquellas que, además de ser solubles, se descomponen en los iones:

<b>Cationes</b>	<b>Aniones</b>
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	Biocarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ )
Potasio ( $\text{K}^+$ )	Carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

Existen muchas clasificaciones establecidas para aguas destinadas al riego. Una de las más utilizadas es la de Riverside. Esta tiene en cuenta a la concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica (en microsiemens/cm a 25 °C) y la concentración relativa de sodio con respecto al calcio y magnesio (en meq/l), denominada índice RAS.

$$RAS = \frac{r(Na)}{\sqrt{\frac{r(Ca+Mg)}{2}}}$$

En el diagrama de Riverside quedan definidas 16 categorías del agua establecidas al combinar las distintas clases de las características de conductividad eléctrica y peligro de alcalinización del suelo.

C-1: Agua de baja salinidad. Conductividad entre 100 y 250 microsiemens/cm a 25 °C que corresponde aproximadamente a 64-160 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de que desarrolle salinidad. Es preciso algún lavado, que se logra normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

C-2: Agua de salinidad media. Conductividad entre 250 y 750 microsiemens/cm a 25 °C correspondiendo aproximadamente a 160 - 480 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos, las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

C-3: Agua altamente salina. Conductividad entre 750 y 2250 microsiemens/cm a 25 °C correspondiendo aproximadamente a 480 - 1440 mg/l de sólidos disueltos. No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de la salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.

C-4: Agua muy altamente salina. Conductividad superior a 2250 microsiemens/cm a 25 °C correspondiendo aproximadamente a más de 1440 mg/l de sólidos disueltos. No es apropiada en condiciones ordinarias para el riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

S-1: Agua baja en sodio. Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles como los frutales de pipa, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

S-2: Agua media en sodio. Puede presentar un peligro en condiciones de lavado deficientes, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de intercambio catiónico, si no contienen yeso.

S-3: Agua muy alta en sodio. En la mayor parte de los suelos puede alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable, por lo que es preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.

S-4: Agua muy alta en sodio. En general es inadecuada para riego, excepto con salinidades bajas o medias, siempre que se pueda posibilitar su empleo con la disolución de calcio del suelo, el uso de yeso o de otros elementos.

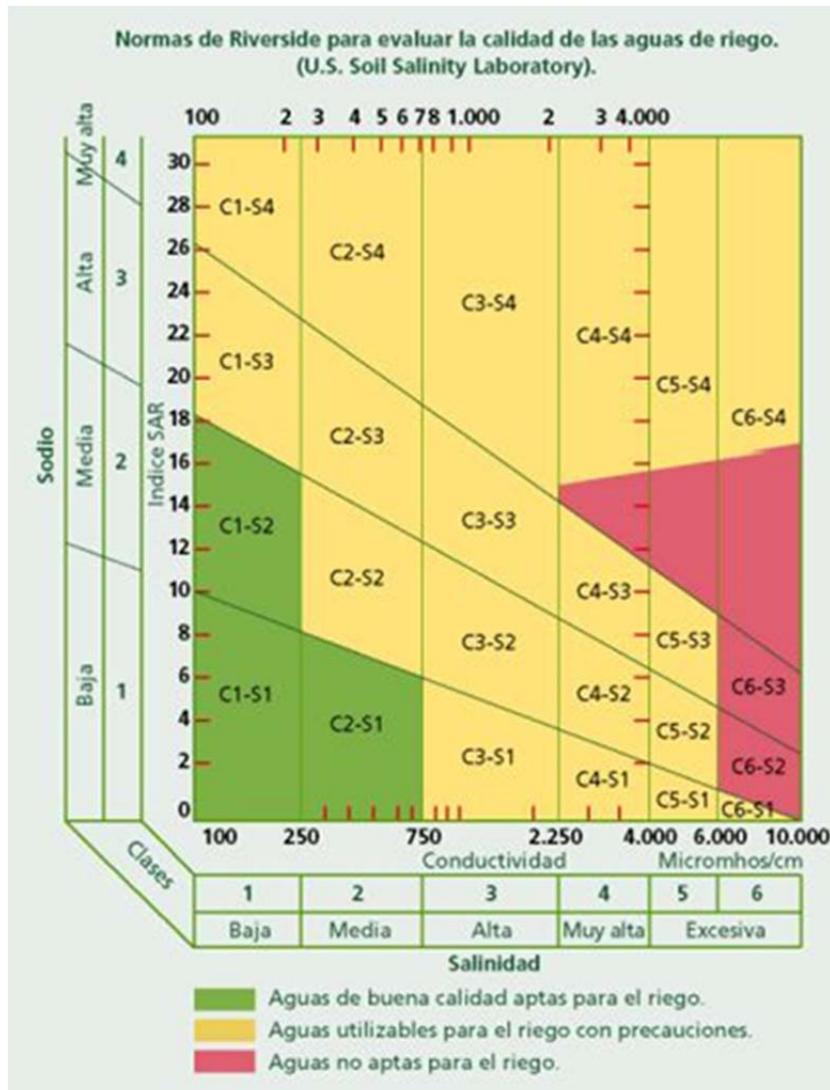


Gráfico 1: Normas para determinar las clases aptas, utilizables y no aptas para el riego de plantaciones.

Con respecto a la salinidad del agua puede establecerse la siguiente clasificación (Davis y De Wiest, 1966):

Cultivos poco tolerantes: pera, manzana, naranja, almendros, ciruela, durazno, damasco, limón, mora, chaucha, apio, rábano, etc.

Cultivos tolerantes: uva, aceituna, granada, tomate, coliflor, lechuga, maíz, zanahoria, cebolla, arvejas, alfalfa, trigo, centeno, avena, arroz, girasol, higo, coliflor, papas, etc.

Cultivos muy tolerantes: dátil, remolacha, espárrago, espinaca, césped, algodón, cebada, etc.

Con respecto al contenido de boro en las aguas destinadas al riego de plantaciones se pueden establecer cinco clases:

Tabla 1: Sensibilidad de los cultivos a las concentraciones de boro en el agua de riego.

Clase	Cultivos sensibles	Cultivos semitolerantes	Cultivos tolerantes
I	0,33 ppm de boro	0,67 ppm de boro	1,00 ppm de boro
II	0,33 a 0,67 ppm	0,67 a 1,33 ppm	1,00 a 2,00 ppm
III	0,67 a 1,00 ppm	1,33 a 2,00 ppm	2,00 a 3,00 ppm
IV	1,00 a 1,25 ppm	2,00 a 2,50 ppm	3,00 a 3,75 ppm
V	+ 1,25 ppm	+ 2,50 ppm	+ 3,75 ppm

En los sistemas de riego por aspersión o goteo, principalmente la calidad del agua es determinante en muchos aspectos ya que además de afectar la salud de la planta, puede afectar seriamente los sistemas de riego.

Tabla 2: Riesgo de obstrucción en sistemas de riego.

Elementos o Parámetros	Riesgo de obstrucciones		
	Ninguno	Moderado	Grave
Sólidos en suspensión (mg/l)	< 50	50-100	>100
Sólidos solubles (mg/l)	<500	500-2000	>2000
Manganeso (mg/l)	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Hierro (mg/l)	<0,1	0,5-2	>2
Ácido sulfhídrico (mg/l)	<0,5	0,5-2	>2
pH	<7	7-8	>8

### Riego de plantaciones con aguas salinizadas

- ✓ Siempre tener en cuenta que el cultivo no se desarrolla en el agua de riego, sino en la solución del suelo, en la que las sales pueden estar mucho más concentradas. Cuando se está obligado a usar agua con un nivel de salinidad relativamente alto, se debe evitar en lo posible la acumulación de sales en la zona radicular y manejar la **fertirrigación** de tal forma que se reduzca la absorción de elementos tóxicos.
- ✓ Por sus características el **riego por goteo** es el más indicado para su uso con agua salina.
- ✓ El riego por goteo permite mantener en la zona radicular una humedad cercana a la **capacidad de campo**, lo que evita una concentración alta de sales.
- ✓ La zona del **bulbo mojado** que ocupan las raíces se lava continuamente, lo que previene la acumulación de sales. No se mojan las hojas con el agua de riego (las hojas de algunos cultivos absorben con facilidad las sales disueltas en el agua de riego).
- ✓ Hay que tener en cuenta que cuando se riega por goteo existe un riesgo en el momento que comienzan las lluvias. Si no llueve lo suficiente como para desplazar las sales por debajo de la zona radicular, el agua de lluvia puede introducir a la zona radicular las sales acumuladas en la parte superior del bulbo mojado.
- ✓ Por esta razón se recomienda mantener el riego activo durante las primeras lluvias del otoño, si estas son débiles, para evitar la entrada de las sales a la zona radicular.
- ✓ Cuando se riega por goteo, el sistema radicular de la planta es más reducido y, además, hay un lavado constante, por lo que es necesario fertilizar todo el tiempo para evitar carencias y desequilibrios.



*Foto 3: Riego por goteo en un campo de cultivos.*



*Foto 4: Riego por aspersión con sistema de pivot.*

**c) Agua para uso ganadero**

La calidad de agua de bebida para animales, en principio, debería tener similares características que para el consumo humano. Sin embargo, muchos animales pueden tolerar ciertas concentraciones de sales que el ser humano no puede hacerlo.

Los bovinos conforman el grupo de animales que más se ajustan a calidades físicas y químicas diferentes, siempre dentro de un ámbito de razonabilidad, fundamentalmente en cuanto al contenido de sales totales y, principalmente de sulfatos. Por supuesto que el contenido de elementos y compuestos como flúor y arsénico son altamente tóxicos también para los animales cuando se encuentran en exceso. Los cloruros son normalmente, considerados como sales beneficiosas para el engorde de animales, especialmente el cloruro de sodio ya que los cloruros de magnesio y calcio le brindan sabor amargo al agua. Tanto los carbonatos como bicarbonatos, en apariencia, no tienen y no se conocen efectos negativos sobre los animales bovinos. Los sulfatos, como ya se expresó, suelen tener un efecto adverso sobre la calidad del agua para el consumo animal ya que le otorgan propiedades purgantes al agua y el característico sabor amargo.

Sager, (2000), realiza una clasificación de la calidad de agua para consumo animal bovino teniendo en cuenta la relación Sales Totales – Sales Beneficiosas – Sales Perjudiciales. Las sales totales (residuo seco) debe expresarse en gr/l. Las sales consideradas beneficiosas es igual a la diferencia entre las sales totales y los sulfatos (sales totales – sulfatos = sales beneficiosas). Las sales perjudiciales corresponden al contenido en sulfatos (gr/l).

Sales totales = Residuo seco g/l y Sulfatos g/l (SO=4). La diferencia entre ambos indica con mucha aproximación las sales beneficiosas.

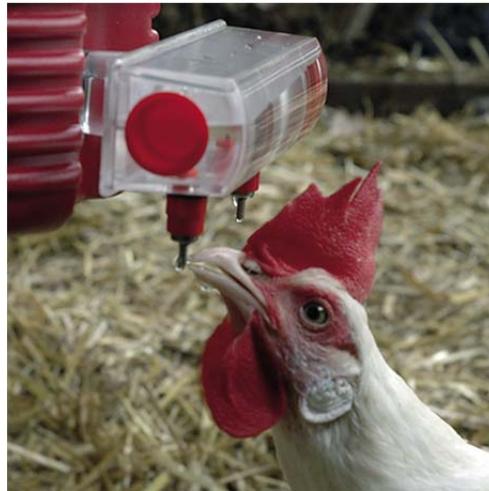
Sales beneficiosas = Sales totales - sulfatos (SO=4). Pocas veces se obtendrán valores enteros al determinar la relación, pero será suficiente que si el punto decimal supera 0,5 se redondee hacia mayor y si es menor a 0,5 se redondee hacia menor.

Tabla 3: Clasificación del agua para consumo bovino.

Sales Totales	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	No Apta
1		1:0	0:1		
2	2:0	2:1	1:1 – 0:2		
3	3:0	4:0 – 3:1	1:2	0:3	
4			2:2	1:3	0:4
5			5:0 – 4:1 – 3:2	2:3	1:4 – 0:5
6				6:0 – 5:1 4:2 – 3:3	2:4 – 1:5 0:6
7					7: 0 – 6:1 5:2 – 4:3 3:4 – 2:5 1:6 – 0:7
8					8:0 – 7:1 6:2 – 5:3 4:4 – 3:5 2:6 – 1:7 0:8



*Foto 5: Sistema de distribución de agua de bebida para cerdos de criaderos.*



*Foto 6: Sistema de bebedero para aves de criaderos.*



*Foto 7: Bovinos bebiendo agua de un sistema de almacenamiento rural.*

Tabla 4: Guía de calidad de agua para el ganado y aves de corral.

Salinidad del agua ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Clase	Observaciones
<1500	Excelente	Apta para toda clases de ganado y aves de corral
1500 - 5000	Muy satisfactoria	Apta para todas las clases de ganado y aves de corral. Puede provocar diarreas temporales al ganado no acostumbrado y excrementos acuosos en aves.
5000-8000	Satisfactoria para ganado  No apta para aves	Puede producir diarrea temporal o no ser aceptada por animales no acostumbrados a ellas. En las aves provoca excrementos acuosos, aumento de mortandad y reducción de crecimiento, especialmente en pavos.
8000-11000	Uso limitado para ganado  No apta para aves	Apta con razonable seguridad para vacunos, lechero, carne, ovinos, porcinos y caballar. Se debe evitar en animales preñados y en la lactancia. No apta para ningún tipo de ave de corral.
11000-16000	Uso muy limitado	No apta para aves y, probablemente, para porcinos. Gran riesgo con vacas lactantes y preñadas, ovinas y caballares. Evitar su uso.
>16000	No recomendable	

#### d) Agua para uso industrial

Generalmente a partir del agua de abastecimiento, se definen las normas de calidad para el uso industrial, aun cuando dichas normas dependen de la industria, los procesos y los cánones privados de cada empresa, todo ello por la diversidad de usos que el agua tiene.

Las características más destacadas del agua, que afectan a la mayoría de las industrias, son la **agresividad y el poder incrustante**. El primero se debe a su conductividad, contenido en oxígeno y aniones capaces de formar con el metal óxidos no protectores, el agua químicamente pura y desgasificada no es agresiva.

El poder incrustante del agua se debe a la presencia de iones de calcio, magnesio y hierro; son bien conocidos los efectos de formación de depósitos de bicarbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), que los bicarbonatos disueltos pueden tener al variar la temperatura y la acidez.

En los usos industriales del agua para procesos, las materias primas utilizadas y en mayor grado la calidad del producto acabado, condicionan las características del agua a utilizar, así por ejemplo para los productos alimenticios el agua deberá ser potable y no presentar ninguna coloración cuando se utilice para la elaboración de textiles, tintes, papeles, etc.

## 6.2. El Sistema recurso hídrico urbano y rural

La importancia del agua para la vida influye sobre su índole económica, de manera que frecuentemente se la clasifica como un bien de propiedad común, cuyos derechos de uso están legalmente definidos. Dadas sus características especiales, en muchos casos el agua se subvenciona y su uso excede el suministro disponible, lo cual conduce a mayor escasez del recurso y a costos crecientes para los gobiernos que intentan mantener y aumentar el suministro. En principio, el precio del agua debe reflejar su costo marginal de largo plazo, a fin de mantener la sostenibilidad financiera del abastecimiento. El desarrollo de mercados de derechos del agua es un método válido para racionar el suministro y generar los recursos financieros para mantenerlo.

En los procesos de descentralización, los gobiernos centrales deben retener la responsabilidad de la planificación global, y del diseño y control del cumplimiento de las regulaciones. También podrán mantener cierto papel en la producción y el suministro del agua, o pueden optar por delegarlo a una amplia variedad de organismos especializados, de ámbito nacional, regional o local.

Dentro de este marco general, los derechos del agua pueden ser asignados a usuarios específicos bajo las condiciones establecidas en la concesión o licencia. Los sectores privado y voluntario pueden administrar el recurso en un ambiente regulado. Esto último puede incluir el desarrollo de mercados formales del agua.

Las asociaciones de usuarios del agua de riego y de comunidades para el suministro doméstico del agua son componentes potencialmente importantes de los procesos de descentralización, tanto en términos de suministro eficiente del recurso como de gobernabilidad democrática.

La índole económica del agua es un tema complejo que tiene implicaciones para la administración de los recursos hídricos y los servicios asociados. Por ejemplo, el grado de rivalidad en el uso del agua depende fundamentalmente de su escasez en cada circunstancia. Las diversas clases de usuarios tienen requerimientos que difieren considerablemente. A medida que el uso aumenta con relación a la disponibilidad, el grado de rivalidad puede aumentar y ocasionar conflictos entre grupos de usuarios, e incluso dentro de cada uno de estos.

Existen también consideraciones particulares con relación a la 'exclusión' y a la índole de los derechos de los usuarios del agua. En muchas culturas y grupos humanos, debido a que es esencial para la vida humana, la legislación formal y los acuerdos informales reconocen al agua como bien de propiedad común, 'perteneciente' a la 'comunidad'. En estos casos, la comunidad o el Estado otorgan un permiso para la utilización del recurso, tomando en cuenta las necesidades actuales y, en lo posible, los requerimientos futuros de los miembros del grupo.

Algunos usos del agua generan externalidades para otros usuarios. Por ejemplo, en muchas situaciones no toda el agua utilizada es consumida y el excedente se descarga en el sistema que abastece a otros usuarios. Si el agua ha sido contaminada, puede causar externalidades negativas para los que se encuentran aguas abajo del cauce.

Por lo demás, la utilización de las fuentes naturales normalmente requiere algún tipo de inversión fija, sea para extraer el recurso, almacenarlo (si es necesario o conveniente) y transportarlo hasta el lugar donde será utilizado. La magnitud de la inversión necesaria para explotar y distribuir el agua varía considerablemente según el tipo de fuente y las condiciones locales; obviamente, lo mismo ocurre con el costo del agua distribuida a los usuarios.

Muchas fuentes de aguas, especialmente la mayoría de las superficiales, no son técnicas o económicamente divisibles, debido a lo cual los usuarios de una determinada fuente no pueden acudir a oferentes alternativos. Por lo tanto, los abastecedores gozan de posiciones de monopolio y no existe competencia en el mercado del agua. Sin embargo, en algunas situaciones existen fuentes alternativas, si bien a un costo mayor, lo cual puede dar lugar a una cierta competencia. De hecho, los mercados del agua se han desarrollado más intensamente cuando el carácter monopolístico de la fuente es menos marcado.

Como resultado de la rivalidad, las externalidades y los monopolios, lo mismo que de consideraciones de equidad, normalmente se establecen limitaciones al principio de exclusión. Esto requiere la existencia de una autoridad superior que establezca normas relativas a los derechos de los individuos a acceder y manejar el recurso. Estas normas se refieren básicamente a:

- La cantidad (volumen) de agua extraída de una fuente primaria.
- La calidad del agua, tanto la suministrada a los usuarios finales como la liberada como fuente secundaria posteriormente a su uso.

En resumen, las principales consideraciones que justifican la intervención de una autoridad reguladora son:

- Imperfecciones de mercado originadas en el control monopolístico sobre una fuente de agua.
- Protección de los derechos de otros usuarios.
- Criterios de equidad en la asignación del recurso.
- Factores vinculados a la conservación del recurso natural.
- Prioridades económicas establecidas en los planes y las políticas de desarrollo sectorial y espacial.
- Alto costo de explotación de algunos recursos hídricos.
- Complejidad técnica y relaciones entre la planificación del uso del recurso y su explotación.



*Foto 8: Recursos hídricos urbanos. El río Ganges.*



*Foto 9: Recursos hídricos rurales. Manejo y control del agua para sistemas de riego rurales.*

### **6.3. Sequías e Inundaciones**

La definición de sequía ha sido muy discutida debido a la desigualdad de criterios aplicados por los diferentes autores. No existe una definición aceptada universalmente por lo que se convierte a veces en un término no completamente preciso. En su acepción más amplia la sequía puede ser un período anormal de mucha escasez de agua ocasionada por la falta de precipitación que afecta negativamente, no sólo a la agricultura sino también a otras actividades como por ejemplo la generación de energía hidroeléctrica y el abastecimiento de agua potable.

Las sequías, de todos los desastres naturales, son los fenómenos que tienen mayor impacto económico y pueden afectar al mayor número de personas. Las inundaciones, así como los terremotos y ciclones, pueden tener una gran intensidad física pero son de duración corta, y su impacto geográfico es limitado. El número de muertes ocasionadas por dichos desastres puede ser muy alto si resultan afectadas áreas densamente pobladas. En contraste, las sequías afectan grandes extensiones geográficas, hasta países enteros, y pueden durar varios meses o, en algunos casos, hasta varios años.



*Foto 10: mortandad de vacunos por sequía extrema en África.*



*Foto 11: sequía extrema en Manila, Filipinas.*



*Foto 12: Competencia por extracción de agua subterránea en un pozo de la India.*

Los desastres debidos a crecidas alcanzan aproximadamente a un tercio de entre todas las catástrofes naturales alrededor del mundo, al menos en cuanto a valores de pérdidas económicas, y son responsables de más de la mitad del número de víctimas fatales. Los daños por crecidas han sido extremadamente severos en décadas recientes y es evidente que tanto la intensidad como la frecuencia de las inundaciones son crecientes. Las pérdidas suman más de 250 billones de dólares en los últimos 10 años.

Las crecidas han sido responsables de numerosas víctimas fatales. La nómina de hechos que provocaron víctimas por eventos naturales –durante los últimos 30 años– contiene dos grandes desastres por crecidas, ambas producidas en Bangladesh en 1970 y 1991. Éstas se ubican en primer y tercer lugar en cuanto a la cantidad de muertos. Como la mayor parte de los eventos hidrológicos excepcionales tienen desarrollo lento y se han implementado técnicas de pronóstico y alerta temprana en muchas áreas densamente pobladas, el número de víctimas fatales tiende a disminuir con el tiempo.

Para el caso de las pérdidas económicas, la situación se presenta aún agravada, pues no sólo los grandes desastres han aumentado su número, sino que también cuentan las pérdidas anuales producidas por eventos menores, que producen inundaciones localizadas. Un análisis de tendencia revela que los desastres debidos a crecidas y las pérdidas generadas por ellas se han incrementado drásticamente en los años recientes. Adicionalmente, deben computarse los costos de las medidas estructurales contra inundaciones y su mantenimiento.

Cualquier incremento regional en eventos extremos (tormentas, inundaciones, ciclones, sequías, etc.) asociados con el cambio climático causará daños físicos, movimiento de poblaciones, y efectos adversos en la producción alimentaria y la disponibilidad y calidad del agua dulce, e incrementará los riesgos de epidemias de

enfermedades infecciosas, en particular en poblaciones vulnerables. El efecto preciso que el cambio climático produce sobre los recursos hídricos es incierto. La precipitación aumentará probablemente más allá de las altas latitudes 30°N y 30°S, pero muchas regiones tropicales y subtropicales recibirán posiblemente una cantidad de lluvia inferior y más irregular. Con una tendencia perceptible hacia el aumento de frecuencia de condiciones meteorológicas extremas, es probable que las inundaciones, sequías, avalanchas de lodo, tifones y ciclones aumenten. Es posible que disminuyan los caudales de los ríos en períodos de flujo escaso y que empeore la calidad del agua debido al aumento de las cargas contaminantes y de la temperatura del agua.



*Foto 13: Inundaciones extremas en el litoral argentino.*

De no modificarse la situación actual, el cambio climático tendrá unos impactos y costos medioambientales, sociales y económicos cada vez más significativos. Por ejemplo, entre los impactos negativos se señalan:

- ✓ Seguridad alimentaria: si aumenta de manera significativa la temperatura global, el efecto más probable será la reducción general de las cosechas en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales. Las tierras áridas pueden ser las más afectadas, ya que la vegetación es sensible a los pequeños cambios climáticos.
- ✓ Eventos extremos: las sequías e inundaciones aumentarán en intensidad. Las fuertes precipitaciones causarán más daños por los derrumbes, avalanchas y deslizamientos más frecuentes. Algunas ciudades costeras estarán amenazadas por las inundaciones.
- ✓ Salud: se encontrarán enfermedades tropicales en latitudes cada vez más altas. Los vectores de la enfermedad, como los mosquitos y los patógenos transmitidos por el agua (pobre calidad del agua, disponibilidad y calidad de los alimentos) estarán sujetos a cambios.

- ✓ Ecosistemas: mientras algunas especies pueden crecer en abundancia o variedad, el cambio climático aumentará los riesgos existentes de extinción de las especies más vulnerables, provocando como consecuencia una pérdida de la biodiversidad.

Corresponde manifestar que los efectos del cambio climático no sólo podrán estar vinculados con potenciales daños y pérdidas para la sociedad, sino que también podrán generar beneficios mejorando las condiciones ambientales de determinadas regiones, por ejemplo, permitiendo que se generen nuevas zonas aptas para la producción de alimentos en regiones de altas latitudes o permitiendo que se instrumenten medidas de adaptación a las nuevas condiciones que resulten superadoras de las condiciones actuales en algunas de las regiones afectadas por modificaciones en sus condiciones climáticas.

Cuando se hace referencia a regiones áridas, semiáridas y subhúmedas del planeta se está denominando, indudablemente, áreas que carecen del agua en cantidades suficientes para satisfacer sus variadas necesidades. Sin embargo, estas áreas poseen características ecosistémicas que las diferencian nítidamente de otras. Así, por ejemplo, es posible destacar en ellas el tipo de vegetación que sustentan, la fragilidad manifiesta de los ecosistemas inmersos, la presencia de poblaciones humanas que viven al límite de sus posibilidades y la escasa importancia económica que se les asigna, salvo que dichas áreas contengan recursos naturales valiosos no renovables (oro, cobre, plata, petróleo, etc.), o sean zonas destinadas al turismo o a actividades de otra índole, como las militares o la experimentación científica. De igual forma, estas áreas se caracterizan por la presencia importante de procesos de desertización, todo lo cual hace más drásticas las condiciones de vida de las poblaciones que las habitan. Problema que se ve agravado cuando la poca agua disponible se ve restringida por el contenido de elementos minerales en exceso que la torna no apta para determinados usos.

En el marco descrito, el elemento diferenciador de estas zonas lo constituye la carencia de recursos hídricos, los cuales son aportados de forma irregular, en cantidades bajas o muy bajas y con importantes grados de torrencialidad, con lo que se configura un cuadro difícil de predecir. Asimismo, las poblaciones ligadas a estos territorios y los consiguientes usos que hacen del agua, provocan una demanda social de regulación de este recurso lo que hace que, en innumerables ocasiones, se den fuertes conflictos entre personas, comunidades y países, dada la importancia estratégica del agua para el crecimiento económico de estas regiones.

Lo anterior configura un contexto en donde se aprecia, por una parte, una alta demanda de recursos hídricos, y por la otra, una escasa oferta natural. Las situaciones descritas generan irremediablemente, más temprano o más tarde, conflictos de todo tipo, a los que se debe responder con esquemas de solución. Para ello, se requiere una cultura que supere tales enfrentamientos, definida por la reflexión y la acción, generadoras ambas de una adecuada tecnología social.



*Foto 14: Inundaciones en la ciudad de La Plata, Argentina.*



*Foto 15: Inundaciones en la cuenca del río Salado, Argentina.*

### **El caso de la Provincia de La Pampa**

Como ejemplo de este tipo de situaciones se puede analizar a la Provincia de La Pampa. Esta región del país se encuadrada en una zona que reúne todo un conjunto de particularidades geomorfológicas, geoquímicas, hidrológicas y ecológicas únicas. Es a partir de ello que se la define como un área que requiere de la utilización racional del recurso a través de una gestión eficiente, integral y sostenible del mismo. Pero, como en muchas otras regiones análogas, la complejidad de los problemas relacionados con el agua crece día a día. Los usos de esta, así como los objetivos que se pretenden satisfacer, son múltiples y hacen aún más complicada la toma de decisiones si se tiene en cuenta la problemática ambiental.

La Provincia se la puede dividir en tres regiones hídricas con gran contrastes entre ellas, subhúmeda-seca con una deficiencia de -20 mm anuales ubicada al este, una región semiárida que se encuentra entre los -20 y -40 mm de deficiencia anual en el centro de la Provincia y una región seca por debajo de los -40 mm. Es a partir de estas regiones que se podemos analizar a la hidrogeología de La Pampa como tres grandes áreas. Por supuesto que la de mejor producción, ya sea desde el punto de vista de la calidad como de la cantidad, se encuentra en el Centro-Este de la provincia, con algunas áreas de significativa importancia. A esta zona se la puede circunscribir dentro del límite Oeste de la llanura Pampeana donde la hidrodinámica del agua subterránea posee una importancia esencial y, a partir de allí el concepto de región hídrica como manejo integral en la planificación y gestión de los Recursos Hídricos se incorporan a la regionalización del área. Es a partir de lo mencionado anteriormente que se puede puntualizar que, como en toda el área de la llanura pampeana, no se encuentra una división de las aguas definida con claridad, lo que complica aún más el establecimiento de un orden hidráulico. Las divisorias, en mucho de los casos, son dinámicas y depende de la distribución espacial, magnitud y duración de los eventos de las lluvias.

Las pendientes oscilan entre 1/1000 a 1/10000. Las geofomas suaves, la incertidumbre en la recarga y el variación, en los últimos 30 años en los regímenes de lluvia, presentan un fragilidad importante en las disponibilidades hídricas. Por un lado en años húmedos, la precipitación excede la evapotranspiración y como estos excesos no pueden ser drenados por el flujo subsuperficial, el nivel freático se eleva hacia la superficie del terreno donde escurren hacia los bajos que, cuando se llenan, producen escurrimientos superficiales o inundaciones, el rápido cambio en la cultura de los consumos del agua, el cambio en los sistemas productivos, etc. con una consecuencia ambiental importante. Por otro lado, una merma en las precipitaciones se traduce rápidamente en un descenso de los niveles freáticos, la desaparición de las lagunas, el incremento en los consumos de agua y una resistencia de los sistemas socioeconómicos a volver a este tipo de condiciones hidrológicas propias de la región.

También, muchos conceptos de la hidrología clásica por sí mismo no pueden explicar por ahora la hidrodinámica del agua subterránea, nos crea un problema aún mayor y nos obliga a un conocimiento regional aún más acabado. Es aquí donde cobra dimensión en la zona de llanura el concepto de región hídrica, palabra poco incorporada en la hidrogeología clásica y en las legislaciones vigentes y además resistidos por muchas autoridades de aplicación de ámbitos provinciales que, si bien está contemplada en muchas legislaciones vigentes a la hora de actuar este criterio no se emplea. Se reconocen a las cuencas y regiones hídricas como los espacios geográficos para la gestión de las aguas y la integración de la política ambiental, sin perjuicio de la división político territoriales de la Provincia. En este marco, el presente proyecto, pretende realizar un análisis de la situación de la zona subhúmeda-seca y semiárida de La Pampa ubicada en el Centro-Este de la misma y que las caracterice someramente desde una perspectiva hidrológica y social. Posteriormente, se propondrá un marco estratégico de actuación, que tienda secuencialmente a una adecuada gestión del agua, con el fin de superar la situación de conflicto que pudiera surgir.

Por otra parte, en la región Este-Centro-Este, esta variabilidad climática se constituye en una zona de transición entre subhúmeda y árida y es un factor fundamental a tener en cuenta en la gestión del agua, causando incertidumbre para la parte de la población que depende, en el aspecto productivo, exclusivamente de la precipitación anual. En estas áreas de riesgo hídrico, la variabilidad climática también influye fuertemente, tanto en la disponibilidad de recursos hídricos, como en el manejo del agua, dependiendo también de otros factores climáticos, como por ejemplo las heladas.

A partir de estos conceptos podemos decir que, tanto el sistema productivo agrícola ganadero, como el consumo por parte de la población es pluvio-dependiente, directa o indirectamente, ya que la ocurrencia de una variabilidad climática en la zona causa sequías en algunos años y exceso de agua o inundaciones en otros, en otras palabras, la gestión del recurso agua ante este tipo de variabilidad climática se torna fundamental (por ejemplo asociadas a un año de déficit o exceso) y sus efectos sobre el desarrollo de una sequía (afectando principalmente al secano) y sobre las lluvias que afectan el manejo de los acuíferos (recarga).

El principal recurso del agua en la región lo constituye el acuífero Pampeano con carácter predominantemente acuitado, lo constituye la formación Cerro Azul y a la que podría asignarse una edad del Mioceno Superior. Ésta se caracteriza por constituir una secuencia sedimentaria integrada por arenas muy finas y limosas, en sus términos superiores, en tanto que en profundidad se hace más limosa hasta limo-arcillosa. Esta formación está cubierta por una capa arenosa eólica de espesor variable de granometría gruesa en la base y de fina a media en la mayor parte del perfil. En algunos sectores esta capa tiene una potencia muy reducida y no participa como roca almacén del agua subterránea pero incide fundamentalmente en el proceso de infiltración del agua de lluvia.

Si bien el escurrimiento subterráneo regional es hacia el Este, la configuración geomorfológica expuesta determina distintas situaciones en cuanto a la dinámica del agua subterránea. Las formas elevadas del relieve se comportan como áreas de recarga, en tanto que las depresiones de ubicación ínter medanosas actúan como áreas de descarga, formando lagunas o bañados, permanentes o temporales. Las áreas de conducción se localizan en los sectores intermedios entre los anteriores, tienen un relieve predominantemente llano y pendiente oriental. Las áreas de recarga constituyen importantes acuíferos para la región, algunos de ellos objetos de explotación intensiva o parcial, para la atención de servicios públicos de provisión de agua potable. Su baja salinidad y contenido aceptable de elementos perniciosos se extiende solamente hasta profundidades de 25 ó 30 m, más allá de las cuales, si bien se mantiene un contenido salino apropiado, se hace notorio el incremento, tanto del flúor como del arsénico. Las aguas de descarga, por el contrario, resultan en muchos sectores, prácticamente inprovechables, tanto por los elevados tenores salinos o por excesos marcados de los oligoelementos mencionados, aun en aguas de moderada salinidad.

Los fenómenos hidrometeorológicos extremos dañan los bienes y la integridad física de las personas, en una cadena compleja de impactos que afectan prácticamente a todas las dimensiones del desarrollo humano. La forma en que se prepara la sociedad frente a condiciones extremas del clima como las ondas de calor, las lluvias intensas, o las sequías prolongadas; es un elemento determinante de la vulnerabilidad de los países en el futuro.

La variabilidad climática se asocia con fenómenos con importantes impactos socioeconómicos y ambientales. Dicha variabilidad climática, se relaciona con la ocurrencia de sequías severas o con lluvias intensas. Si los efectos de este extremo climático se incrementan, la zona se verá expuesta a eventos extremos de origen hidrometeorológico, a menos que se corrijan prácticas sociales que incrementan la vulnerabilidad. Bajo este

panorama, la planificación, la gestión y la acción frente a los riesgos hidrometeorológicos cobran gran relevancia.

La construcción de capacidades de adaptación frente a los potenciales impactos de la variabilidad hidrometeorológica depende de las decisiones que se tomen desde hoy en el campo tecnológico, social, económico y ambiental; en la definición de medidas de adaptación, en el uso de herramientas para planear con incertidumbre, y en el desarrollo de mejores condiciones reactivas y preventivas ante eventos extremos.

Las reflexiones aquí expresadas surgen en respuesta a la necesidad de tratar la gestión integral de riesgos de origen hidrometeorológico, como un tema trascendental para la región. A partir del conocimiento de los peligros climáticos, del análisis de las condiciones de vulnerabilidad ambiental y de diferentes experiencias vinculadas con la adaptación y el manejo de recursos hídricos; se plantean líneas de acción orientadas hacia la construcción de capacidades de adaptación de la región a las adversidades.

Este análisis de la relación agua-clima-sistema productivo-factores sociodemográficos intenta incidir en el espacio de vinculación entre los actores que generan el conocimiento y quienes diseñan y aplican política pública. Se trata de pensar de una manera distinta los temas de vulnerabilidad hídrica, de los riesgos frente a la variabilidad climática y en particular frente a los eventos hidrometeorológicos extremos, para proponer estrategias de acción que sumen las capacidades del gobierno a la acción de la sociedad.

Por otra parte, el análisis de los factores sociodemográficos que pudieran incrementar los riesgos surge de la necesidad de una estructura institucional vinculada con el tema, con objeto de orientar la acción hacia el manejo integral de riesgos hidrometeorológicos en los ámbitos regional y nacional. El presente proyecto pretende un acercamiento entre el análisis de un problema socio-productivo-ambiental a partir de la visión sistémica y el conocimiento del clima y la hidrología. Se tratará de brindar fundamentos teóricos claramente expresados y bases metodológicas para determinar amenazas y condiciones de vulnerabilidad ante la citada variabilidad climática, en el área en cuestión a distintas escalas de espacio y tiempo. Los planteamientos vertidos son importantes insumos para avanzar en la elaboración de Programas Estatales de Planificación Hídrica.

Por otra parte se pretende obtener elementos de planificación a partir del conocimiento que generan los datos y la información disponible y reflejar también la utilidad del conocimiento ante el planteamiento de este tipo de problemas. Se debe aprovechar la oportunidad y los insumos que tenemos para planear la adaptación exitosa a los efectos previsibles de las distintas variables hidrológicas.

También, en este tipo de regiones, es extraordinaria la inestabilidad ambiental de los ecosistemas acuáticos. Ello se pone de manifiesto en la heterogeneidad espacial y las variaciones temporales de sus componentes físicos, químicos y bióticos. El balance hídrico negativo, característico de estas regiones, sitúa al área en extremos ambientales que pasan desde períodos de sequía a eventos de inundación de escasa duración. Tres factores clave determinan esta movilidad: la temporalidad de las aguas, las interacciones del agua superficial, subsuperficial y subterránea y la tipología del sustrato. Todos ellos contribuyen a configurar el cuadro hidroquímico y su variabilidad espacial y temporal, a seleccionar los componentes biológicos y sus relaciones y a marcar las características metabólicas del ecosistema. Todas estas cuestiones deben tenerse en cuenta para la gestión de los sistemas hídricos en esta tipo de ambiente.

**Las inundaciones en la llanura pampeana: un problema de falta de Gestión y Planificación de los recursos hídricos?**

Las condiciones hidrológicas extremas, cuya manifestación más visible la representan los anegamientos e inundaciones prolongadas en el tiempo que padece la región N-E de nuestra provincia y otras zonas del país, han derivado en graves afectaciones a la zona rural e infraestructura urbana y en la generación de conflictos de la comunidad involucrada y a no dudarlo en un futuro próximo, entre estados provinciales vecinos. En el área, que ha sido intensamente modificada por el hombre, ha tenido una significativa influencia sobre la dinámica hídrica en estado natural, las bajas pendientes de su anárquico sistema. Se agrega a ello, la degradación del suelo en la región y que es el resultado de la modificación de prácticas agronómicas desde comienzo de la década del '70, fecha a partir del cual nuestra provincia comienza, aunque de manera incipiente, a sufrir esta problemática. Por otra parte, en las llanuras no hay una división de las aguas definida con claridad, lo que complica aún más el establecimiento de un orden hidráulico. Las divisorias, en mucho de los casos, son dinámicas y depende de la distribución espacial, magnitud y duración de los eventos de las lluvias. (Usunoff, Varni, Weinzettel y Rivas, 1999).

*Tabla 5: Comportamiento hidráulico del agua de lluvia en la Llanura Pampeana.*

<b>Atributo</b>	<b>Paisaje con relieve</b>	<b>Paisaje Llano</b>
Superficie Tributaria (cuenca)	Definida	No bien determinada
Punto de Descarga	En general, único	Múltiple
Energía Morfológica	Alta	Baja
Drenaje superficial	Organizado y jerarquizado	Anárquico
Flujos de agua horizontales	Muy importantes	Poco importantes
Flujo de agua verticales	Mediano a poco importantes	Determinantes
Pendientes superficiales	Mayores a 0,5 %	Menores a 0,1 %
Impacto de la zona antropica	Bajo a medio	Alto
Tiempo de respuesta a un estímulo pluvial	Generalmente corto	Largo
Respuesta en el punto de descarga ante un estímulo pluvial	Rápido y en fase	Lento a nulo
Dirección de escurrimiento superficial	Invariable	Variable

Las geoformas suaves, la incertidumbre en la recarga y el incremento en los últimos 30 años en los regímenes de lluvia contribuyen a que se hayan elevado los niveles freáticos. En años húmedos, la precipitación excede la evapotranspiración y como estos excesos no pueden ser drenados por el flujo subsuperficial, el nivel freático se eleva hacia la superficie donde escurren hacia los bajos que cuando se colmatan, producen escurrimientos superficiales.

La conveniencia de realizar una red freáticas en toda la zona crítica de la provincia, con la instalación de freátígrafos, estaciones meteorológicas, instalación de limnógrafos, etc., si bien es cierto no hubiere evitado las lluvias y consecuentemente las inundaciones, si hubiera permitido efectuar las predicciones necesarias con la suficiente antelación para anticiparnos a este inconveniente y prever las acciones a seguir. Por ejemplo, hubiera permitido la comunicación con bastante antelación a los productores y pueblos en general, de lo que estaba ocurriendo con el ascenso preocupante de la capa freática por las mayores precipitaciones anuales y de cómo reaccionaría ésta ante lluvias futuras como por ejemplo, se observa en foto siguiente, para dos situaciones distintas de la ciudad de Laboulaye.



Foto 16: Ciudad de Laboulaye. Izquierda imagen del 24/04/2001. A la derecha imagen del 25/10/2001.

#### 6.4. Planificación y Gestión de los recursos hídricos en la Argentina

Analizar la experiencia de Argentina en gestión del agua a nivel de cuencas y organismos de cuenca, tanto en el ámbito provincial como interjurisdiccional, puede ser de interés por la variedad de matices que presenta, como consecuencia de su diversidad climática e hidrológica, pero, sobre todo, por su estructura político-institucional, con características particulares que la diferencian de los otros países de la región. Sus primeros pasos en la búsqueda de solución de problemas de gestión del agua tomando como unidad territorial de análisis a la cuenca, se remontan a la década de 1950. Notablemente, ese interés se ha mantenido hasta la actualidad, a pesar de los altibajos resultantes de los frecuentes y significativos cambios en las condiciones políticas y económicas del país (Pochat, 2005).

A lo largo de los años se fueron conformando un buen número de entidades, como respuesta a distintas circunstancias y necesidades. Aunque con algunas excepciones, se trata en general de iniciativas independientes, que no responden a un patrón común, al no haber tenido mucho en cuenta otras iniciativas análogas, ya sea de Argentina o de otros países. Surgió así una diversidad de organismos de cuenca que presentan, sin embargo, algunos rasgos normativos similares. Aunque evidentemente ninguna experiencia es replicable sin modificaciones y, en algunos casos, ni siquiera adaptable, puede resultar útil analizar el contexto y las circunstancias en que se desarrolló cada caso, aprender a partir de los logros y de los errores, y rescatar aquellos elementos que resulten de utilidad (Pochat, 2005).

Como paso trascendente cabe destacar el acuerdo alcanzado en el año 2003 entre la mayor parte de las provincias y la Nación sobre principios de política hídrica, lo que debería servir de base para adecuar las normativas, leyes e instituciones existentes, de tal manera que se pueda incorporar una visión común para la gestión del agua en todo el país.

De acuerdo a Pochat (2005), la oferta de recursos hídricos se puede expresar como un caudal medio de aproximadamente 26.000 m<sup>3</sup>/s teniendo, en términos globales, buena calidad. Aunque esta cifra puede aparecer como cuantitativamente generosa, es necesario puntualizar que la distribución espacial es muy desbalanceada. El 85% del agua superficial del país corresponde a los territorios argentinos de la cuenca del río de la Plata, con sus ríos Bermejo, Paraguay, Uruguay y Paraná, entre sus cursos de agua principales, y con la mayor concentración de su población y actividad productiva. En el otro extremo se sitúan las provincias áridas y semiáridas, con cuencas de escasa pluviosidad y menos del 1% del total del agua superficial. El Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado en 2001 registra un total de 36.300.000 habitantes, por lo que la oferta media anual de agua superficial por habitante se puede expresar como un caudal de alrededor de 22.600 m<sup>3</sup>/habitante/año, muy superior al umbral de estrés hídrico de 1.000 m<sup>3</sup>/habitante/año. Sin embargo, algunas provincias, como Tucumán, Córdoba y San Luis, ya presentan valores por cápita inferiores a ese valor. En cuanto al agua subterránea, recientes estudios consignan que un 30% del agua utilizada corresponde a ese tipo de fuente. Han sido relevados importantes acuíferos utilizables en el país, con alto grado de conocimiento en algunos casos, como en las provincias de San Juan y Mendoza, en las que se depende fuertemente de ellos.

Los datos de demanda indican que de los 34.000.000.000 m<sup>3</sup> de agua por año utilizados en promedio durante el período 1993-1997, un 71% fue destinado al riego, un 13% a abastecimiento de agua potable, un 9% a bebida de ganado y un 7% a usos industriales (Calcagno, Gaviño y Mendiburo, 2000 in Pochat, 2005).

Según la Constitución Nacional, “las provincias conservan todo el poder no delegado por esta Constitución al Gobierno federal, y el que expresamente se hayan reservado por pactos especiales al tiempo de su incorporación”. Luego 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”. También la jurisdicción, es decir la potestad de reglamentar las relaciones emergentes de su aprovechamiento, defensa y conservación, corresponde a las provincias, puesto que es una potestad inherente al dominio, a través de cuyo ejercicio tiene efectividad y contenido. Respecto de los ríos interprovinciales, corresponde la jurisdicción provincial, y los asuntos concernientes a ellos se deben reglamentar mediante tratados (Pochat, 2005).

El principio expresado en materia de jurisdicción reconoce como excepciones aquellas facultades que han sido expresamente delegadas por las provincias a la Nación. 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 y la celebración de tratados internacionales, el

almirantazgo y jurisdicción marítima, y el dictado de los Códigos Civil, Penal, de Minería, de Comercio, y de Trabajo y Seguridad Social.

A nivel nacional, se puede decir que no existe una ley nacional de aguas. Numerosos proyectos sobre una ley nacional o federal de aguas fueron presentados por el Poder Ejecutivo o por diversos legisladores a lo largo de los años, sin encontrar el adecuado respaldo para su sanción.

En cuanto a los aspectos institucionales, se ha dicho en numerosos trabajos especializados que “la dispersión es, sin lugar a dudas, la característica más dominante de la trama institucional de nuestro país en lo referente a la gestión de sus recursos hídricos” (Laboranti y Malinow, 1995 en Pochat, 2005). Asimismo, ha sido opinión coincidente de sucesivos diagnósticos del marco institucional en Argentina que la gestión de los recursos hídricos tanto a nivel nacional como a nivel provincial, se caracteriza principalmente por la fragmentación sectorial e institucional.

La falta de coordinación interinstitucional, e incluso de comunicación e intercambio de informaciones entre las distintas dependencias, genera superposición de funciones y, en ocasiones, dilución de responsabilidades. La ausencia de coordinación ha favorecido el desarrollo de conflictos intersectoriales, especialmente entre usos competitivos como el riego y la generación de energía hidroeléctrica, así como de conflictos entre diferentes jurisdicciones. Ellos han sido, fundamentalmente por:

- ✓ **Cupos de caudales** (por ejemplo, la provincia de La Pampa contra la provincia de Mendoza en un juicio que llegó a instalarse en la Corte Suprema de Justicia de la Nación por caudales del río Atuel; la provincia de Santiago del Estero contra la provincia de Salta por caudales del río Juramento; y la provincia de Santa Fe contra la provincia de Santiago del Estero por caudales del río Salado).
- ✓ **Manejo de volúmenes excedentes** de aguas de inundaciones (como la provincia de Buenos Aires contra la provincia de Santa Fe, con una queja interpuesta ante la Corte Suprema de Justicia de la Nación por evacuación de volúmenes inundantes de la cuenca de la laguna La Picasa; la provincia de Santa Fe contra la provincia del Chaco, por evacuación de excedentes hídricos del área de los Bajos Submeridionales; y la provincia de Buenos Aires contra las provincias de La Pampa y Córdoba por los excedentes hídricos del área pampeana central).
- ✓ **Contaminación** de cursos de agua interprovinciales (por ejemplo, la provincia de Santiago del Estero contra la provincia de Tucumán por la calidad del agua del río Salí-Dulce).

Argentina no dispone aún de un mecanismo consensuado no contencioso de solución de conflictos como los expresados. Tampoco tiene instrumentos económicos que mejorarían la eficiencia en la asignación del agua (como por ejemplo, mercados de agua), ni principios obligatorios para la evaluación de proyectos hídricos, lo que se ha traducido en proyectos de escasa o aun negativa rentabilidad. Carece además de procedimientos para evaluar y determinar los impactos de políticas macroeconómicas sobre la inserción sustentable de los recursos hídricos en el proceso de desarrollo nacional.

Dado el carácter federal de su sistema de gobierno, no existe en Argentina una autoridad nacional de aguas. Sin embargo, tanto a nivel nacional como a nivel provincial, existe una amplia y diversa cantidad de organismos con injerencia en la gestión del agua. Se destaca también una movilidad poco conveniente de las estructuras administrativas gubernamentales, en función de los cambios que se producen en los elencos gubernamentales.

En el nivel nacional, la organización institucional en lo que se refiere a los recursos hídricos, se modificó numerosas veces a lo largo de su historia y, especialmente, en los últimos ocho años. Tradicionalmente ubicada en los ministerios de obras públicas, hacia finales de la década de 1990 el área hídrica nacional estuvo situada durante dos años en la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano, dependiente entonces de la Presidencia de la Nación. A fines de 1999 se incorporó al Ministerio de Infraestructura y Vivienda, de corta existencia; luego al Ministerio de Economía; y posteriormente, a la Secretaría de Obras Públicas de la Presidencia de la Nación. Desde mayo de 2003, el organismo rector de la gestión de los recursos hídricos a nivel nacional —la SSRH— depende de la Secretaría de Obras Públicas del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. De acuerdo al Decreto N° 27, del 27 de mayo de 2003, sus objetivos son, entre otros:

- la asistencia a la Secretaría de Obras Públicas en la elaboración y ejecución de la política hídrica nacional y la propuesta del marco regulatorio relativo al manejo de los recursos hídricos, vinculando y coordinando la acción de las demás jurisdicciones y organismos intervinientes en la política hídrica;
- la elaboración y ejecución de programas y acciones vinculadas a la gestión de los recursos hídricos internacionales compartidos, sus cuencas, cursos de agua sucesivos y contiguos y regiones hídricas interprovinciales;
- la formulación y ejecución de programas y acciones de gestión y desarrollo de infraestructura;
- la ejecución de la política nacional de prestación de los servicios públicos y de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico;
- la coordinación de las actividades inherentes al Comité Ejecutor del Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Hídrica Matanza-Riachuelo; y
- el ejercicio del contralor del accionar del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) y la Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE).

Por su parte, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, en el Ministerio de Salud y Ambiente, es la autoridad nacional en lo inherente a la preservación y protección ambiental, a la implementación del desarrollo sustentable y a la utilización racional y conservación de los recursos naturales renovables y no renovables, tendientes a alcanzar un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano.

## 7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y CITADA

Academias Nacionales de Ciencias Económicas; Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; Ingeniería. 2010. La Cuestión del Agua. Algunas Consideraciones Sobre el Estado de Situación de los Recursos Hídricos de la Argentina. 1a ed. - La Plata: Universitaria de La Plata, 2011. 128 p. Buenos Aires.

Aguilar Rojas, G y A. Iza. 2009. Gobernanza de Aguas Compartidas. Aspectos Jurídicos e Institucionales. UICN, Serie de Política y Derecho Ambiental No. 58 Rev. Gland, Suiza.

Aguilera Klink, F.; Pérez Moriana, E. y Sánchez García, J. 1998. Valoración ambiental del agua subterránea en un contexto insular: el caso de Tenerife (Islas Canarias). Agricultura y Sociedad Nº 86. Pág. 223 a 247.

Andreu, J. (Ed.) .1993. Conceptos y métodos para la planificación hidrológica. Barcelona: Cimne, p. 391.

Banco Mundial. 2002. Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Banco Mundial, Washington D.C., EEUU.

Banco Mundial. 2006. Protección de la Calidad del Agua Subterránea definición de estrategias y establecimiento de prioridades. Gestión Sustentable del Agua Subterránea. Conceptos y Herramientas. Serie de Notas Informativas. Nota 8. Banco Mundial, Washington D.C., EEUU.

Bachelard, G. 1985. La formación del espíritu científico. Argentina: Editorial Siglo XXI.

Balestri, L. A. 1997. La competitividad de las cooperativas de servicios públicos. Factor económico Nº 7. Santa Rosa (La Pampa). Pág. 99 a 104.

Bedient, P y W. Huber. 1992. Hydrology and Floodplain Analysis. EEUU: Adisson- Wesley Publishing Company, p.692.

Bosch, J y J. Hewlett. 1982. "A Review of Catchment Experiments to Determine the Effect of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration". Journal of Hydrology, Vol 55: p 3-23.

Bullock, A y A. Gustard. 1990. Towards a Regional Water Resource Study of Arid and Semiarid Africa. EEUU: International Water Resources Association Urban.

Boninsegna, J y A. Llop. 2015. Impactos y vulnerabilidad al cambio climático de los principales ríos de Mendoza y San Juan a partir de la evolución de los glaciares cordilleranos. La economía del cambio climático en la Argentina. Serie: Medio Ambiente y Desarrollo. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Black, P. 1991. Watershed Hydrology. New Jersey: Prentice Hall, p.408.

Brebbia, F. 1992. Manual de derecho agrario. Astrea. Bs. As.

Calcagno, A.; N. Mendiburo y M. Gaviño Novillo. 2000. Informe sobre la Gestión del Agua en la República Argentina, Buenos Aires: Word Water Vision.

Cano, G. J. 1976. Colección de estudios jurídico-políticos sobre los recursos naturales y el ambiente humano, t. III, vol. 1, título 23, editado por Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica, Instituto de Economía, Legislación y Administración del Agua, Mendoza, Argentina.

Carello, L. A. 1994. La experiencia privatizadora argentina y las cooperativas. Intercoop. Bs. A. 140 pág.

Casaza, J. 2003. La situación del manejo de cuencas en la República Argentina, Mimeo, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, preparación del III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas, Arequipa, Perú.

Castelli, A. 1998. Conservación de la naturaleza en tierras de propiedad privada. Congreso Internacional de Derecho Rural y de los Recursos Naturales. Universidad del Museo Social Argentino. Bs. As.

Catalano, E.; Brunuella, M.; García, C.; Lucero, L. 1999. Lecciones de derecho agrario y de los recursos naturales. Zavalía. Bs. As.

Cavalli, L. A. 2007. Derecho de Aguas. Documento de Trabajo Nº 168, Universidad de Belgrano.

CEDEX. 1993. Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, p. 55.

CEPAL. 1999. Tendencias Actuales de la Gestión del Agua en América Latina y El caribe. (Avances en la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

CEPAL. 2016. Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Serie: Recursos Naturales e Infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Código de Aguas de la provincia de Salta. Ley Nº 7.017.

Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable (Cumbre de la Tierra). 2002. Naciones Unidas. Johannesburgo. Sudáfrica.

Custodio, E y M.R Llamas. 1996. Hidrología Subterránea. Tomos I y II. Segunda Edición Corregida. Editorial Omega. España.

Clabot, D. 1999. Tratado de derecho ambiental. Ad-Hoc. Bs. As.

Cracogna, D. 1987. Naturaleza y régimen jurídico de las cooperativas de servicios públicos. Intercoop. Bs. As.155 pág.

Chisari, O y M. Celani. 1996. Notas de análisis económico de la regulación de servicios públicos. UADE. Buenos Aires. 123 pág.

Dourojeanni, A; A, Jouravlev y G. Chávez. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas, en CEPAL Serie Recursos e Infraestructura N° 47, Naciones Unidas, Santiago de Chile, Chile.

Dourojeanni, A. 2004. Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas del Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de medio Ambiente y recursos naturales (SEMARNAT), Seminario "Gestión Integral de Cuencas: teoría y práctica", México D.F.

Embid, A y L. Martín. 2015. La experiencia legislativa del decenio 2005-2015 en materia de aguas en América Latina. Serie: Recursos Naturales e Infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Estrada Arjuela, J. 1998. Evolución reciente del derecho ambiental internacional. A-Z Ed. Bs. As.

Estrela, T. 1990. Los modelos de simulación integral de cuenca y su utilización en estudios de recursos hídricos. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente.

Estrela, T. 1991. Sensitivity Analysis as a Tool to Improve the Parameter Calibration of a Watershed Model. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas Transportes y medio Ambiente.

Estrela, T. 1992. Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos. Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente, p.55.

FAO. 2012. El Estado de los Recursos de Tierras y Agua del Mundo para la Alimentación y la Agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Fetter, C.W. 2001. Applied Hydrogeology. Prentice – Hall, 4° edición, 598 pág.

Formento, S. 1998. Empresa agraria, marco jurídico y contratos más usuales. Orientación Gráfica. Bs. As.

Formento, S. 2001. Principios generales del régimen del agua. En: Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Franza, J. 1997. Manual de derecho ambiental argentino. Tomo I y II. Doctrinas Jurídicas. Bs. As.

FCIHS. 2009. Hidrogeología. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Artes Gráficas Torres, S.L. 1° edición, 768 pág. Barcelona.

Gaspari, F. J., A. M. Rodríguez Vagaría, G. E. Senisterra, M. I. Delgado y S. I. Besteiro. 2013. Elementos Metodológicos Para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de La Plata. 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata.

Gordon, N., et al. 1992. Stream hydrology; an introduction for ecologists. John Wiley and Sons. Inglaterra. 526 p.

- Gupta, R. 1989. Hydrology and Hydraulic Systems. New Jersey: Prentice Hall, p. 679.
- Hernández Muñoz, A. 1993. Abastecimiento y distribución de agua. Paraninfo. Madrid. 793 pág.
- Hufschmidt, M. F. 1965. Field Level Planning of Water Resource Systems. Water Resources Research. 2nd Quarter 1965 N° 2, pp. 147-163.
- IANAS. 2012. Diagnóstico del Agua en las Américas. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC. México.
- ICMM. International Council on Mining and Metals. 2014. Marco de referencia para la gestión del agua.
- INA. 2005. Instituto Nacional del Agua. Prospectiva Hídrica.
- Iza, A y M E. Rovere (Editories). 2006. Gobernanza de Aguas en América del Sur: Dimensión Ambiental. UICN, Serie de Política y Derecho Ambiental No. 53 Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- James, L. D. and Lee, R.R. 1971. Economic of water Resources Planning. Mc Graw- Hill, 1971.
- Jouravlev, A. 2004. Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. Serie: Recursos Naturales e Infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Kuiper, E. 1971. Water Resource Proyect Economics. Butterworth Publishers. London 1971.
- Lavabre, J., et al. 1991. "Etude du comportement hydrologique d'un petit bassin versant mediterraneen apres la destruction de l' ecosysteme forestier par un incendie". Journal de Hidrologie Continentale, Vol. 6, n° 2, p. 121-132.
- López Alfonsín, M y A. N. Martínez. 2005. La protección ambiental en un sistema federal: El caso argentino", N° 04 de la Revista Brasileira de Directo Ambiental, Editora Fiuza Ltda. Sao Paulo, Brasil.
- Mac Mahon, T. 1982. "Does Australia Fit?" World Hydrology, Inst. Eng. Aust.; Conferencia. Australia. p. 1-7.
- Mac Mahon, T. 1988. "Drought and Arid Zone Hydrology", Civil Engineering Transactions, 4: 175-185. Australia: University of Melbourne, Institution of Engineers.
- Maidment, D. (ed.). 1993. Handbook of Hydrology. EEUU: Mc-Graw Hill.
- MINISTERIO DE PLANIFICACION FEDERAL INVERSION PÚBLICA Y SERVICIOS. 2003. Principios Rectores de Política Hídrica de la república Argentina. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Consejo Hídrico Federal.
- Mochon, F y V. Beker. 1993. Economía, Principios y aplicaciones. Mc Graw Hill. Madrid.
- Moore, R. 1990. Hydrological Modelling for Water Management in Arid and Semiarid Areas of Africa. EEUU: International Water Resources Association Urban, p. 36-45.

OPS. 2011. Organización Panamericana de la Salud. Agua y Saneamiento: Evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública.

Pastorino, L. 1998. La jurisdicción sobre las aguas en la provincia de Buenos Aires. Congreso Internacional de Derecho Rural y de los Recursos Naturales. Universidad del Museo Social Argentino. Bs. As.

Pavón, H. 2002. Las depredaciones que recalientan el planeta. Diario Clarín. Suplemento Zona. Págs. 1 y 2. 1° de setiembre.

Pérez de Tudela, A. 1999. La sociedad y los usuarios ante la reforma de la ley de aguas ¿Hacia un mercado de aguas?". Jornada sobre una nueva ley de aguas en el Parlamento. Valencia. España.

Pigretti, E. 1997. Derecho ambiental. Depalma. Buenos Aires.

Pigreti, E.; Bellorio Clabot, D y L. Cavalli. 2010. Derecho Ambiental de Aguas. Editorial Lajouane.

Pilgrim, D., et al. 1988. "Problems of Rainfall-Runoff Modelling in Arid and Semiarid Regions", Hydrological Sciences Journal, 4: 379-400, Vol 33.

Piñol, J. 1990. "Hidrología y biogeoquímica de conques forestades de les Muntanyes de Prades". Tesis doctoral. Universitat de Barcelona., p. 232.

Piñol, J., et al. 1991. "Hydrological Balance of Two Mediterranean Forested Catchments (Prades, northeast Spain)", Hydrological Sciences Journal, 36: 95-107, Paris: Unesco.

Pizarro, R., et al. 1993. Elementos Técnicos de Hidrología III. Proyecto Regional Mayor Unesco-Rostlac. Talca: Editorial Universidad de Talca, p.134.

Pizarro, R., et al. 1997. Plan de desarrollo forestal ambiental de la IV Región de Coquimbo, Chile. Chile: Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura, p. 147 y anexos.

Ponce, V. 1989. Engineering Hydrology. Principles and Practices. New Jersey: Ed. Prentice Hall, p. 640.

Pochat, V. 2005. Entidades de gestión del agua a nivel de cuencas: experiencia de Argentina. Serie: Recursos Naturales e Infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Pochat, V. 2008. Principios de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Bases para el desarrollo de planes nacionales. Global Water Partnership (GWP).

PNUMA. 2003. Gestión de Recursos Hídricos en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

RALCEA. 2015. Herramientas para Contribuir a la Gestión Sustentable del Agua en Latinoamérica. Red de Centros de Excelencia en Agua en América Latina. Proyecto de Apoyo de la Comisión Europea a la Red Latinoamericana de Centros de Excelencia en Agua.

Rodier, J. 1985. "Aspects of Arid Zone Hydrology", en Facets of Hydrology II, (Ed. J. Rodda) Editorial Wiley, p. 205-247.

Rodier, J. 1990. Caracteres generaux de l'hydrologie superficelle des zones arides et semi-arides en Afrique-leurs consequences sur les etudes des ingenieurs. Service Hydrologique, ORSTOM, p.19.

Rogers, W y H. Zia. 1982. "Linear and Non-Linear Runoff from Large Drainage Basins", Journal of Hydrology, 55: 267-278.

Shaw, E. 1985. Hydrology in Practice. Reino Unido: Van Nostrand Reinhold, p.569.

Shaw, E. 1989). Engineering Hydrology Techniques in Practice. Reino Unido: Ellis Horwood Limited, p. 349.

Singh, V. (ed.) 1982. Applied Modeling in Catchment Hydrology. Colorado: Water Resources Publication, p. 563.

Singh, V. 1988. Hydrologic Systems. New Jersey: Prentice Hall, Englewoods Cliffs, Vol. 2.

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS (SSRH) (2002) "Coordinación de Cuencas Hídricas: Un Desafío Permanente". Documento preliminar. Dirección Nacional de Políticas, Coordinación y Desarrollo Hídrico, Área Coordinación de Cuencas. Buenos Aires: SSRH.

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS (SSRH) (2010) "Microtesauro de cuencas hidrográficas", en: Tesauro de identificadores geográficos, Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Obras Públicas, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Biblioteca de los Recursos Hídricos de la República Argentina.

Solanes, M y F. González Villarreal. 2001. Los Principios de Dublín Reflejados en una Evaluación Comparativa de Ordenamientos Institucionales y Legales para una Gestión Integrada del Agua. Asociación Mundial del Agua (GWP). Comité de Consejo Técnico (TAC).

Solanes, M y A. Jouravlev. 2005. Integrando economía, legislación y administración en la gestión del agua y sus servicios en América Latina y el Caribe. Serie: Recursos Naturales e Infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

TASC 52. 1994. El mercado de aguas en Chile. Trabajo de asesoría económica al Congreso Nacional. Chile.

Temez, J. 1977. Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. Madrid: ASINEL, p. 15.

UNESCO. 1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, Rostlac, p. 130.

UNESCO. 1986. Manual "Agua, vida y desarrollo". Tomo I. Proyecto Regional Mayor. Montevideo: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, p. 174.

UNESCO. 1993. Hidrología comparada. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, p.491.

UNESCO. 2010. Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe. Programa Hidrológico Internacional. PHI-VII / Documento Técnico N° 25. Proyecto Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y El Caribe.

UNESCO. 2010. Guía metodológica para la aplicación del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías basado en L-momentos y resultados de aplicación en América Latina. Programa Hidrológico Internacional.

UNESCO. 2015. Agua para un Mundo Sostenible. Resumen Ejecutivo. Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015.

Valls, M y H. Alterini. 1999. Responsabilidad ambiental. Universidad de Belgrano. Buenos Aires.

Valls, M. 1999. Derecho ambiental. Ciudad Argentina. Bs. As.

Valls, M. F. 2008. Derecho Ambiental. 1ra. Edición, Abeledo Perrot, Buenos Aires, Argentina.

Victoria, M. A. 1998. La dimensión ambiental en los códigos de agua. Congreso Internacional de Derecho Rural y de los Recursos Naturales. Universidad del Museo Social Argentino. Bs. As.

Vivanco, A. 1995. Anteproyecto de Código Rural. Diario de Sesiones del Senado de la Provincia de Buenos Aires. 26 de agosto. Pg. 780 y ss.

Ward, R y M. Robinson. 1989. Principles of Hydrology. Reino Unido: Mc Graw-Hill International. p. 365.

Williams, S. 1998. El riesgo ambiental y su regulación. Derecho internacional y comparado. Abelardo Perrot. Bs. As.