

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES

### 1.1 Definición

La Hidrología es una rama de la geofísica que se preocupa de estudiar el origen, distribución, movimiento, propiedades e influencia del agua en la tierra.

La Hidrología como ciencia de la Ingeniería incluye aquellos aspectos cuantitativos de la Hidrología, que tienen relación con la planificación, diseño y operación de obras de Ingeniería y ciencias afines, para el uso de control del agua.

### 1.2 El Ciclo Hidrológico

*"Todos los ríos van al mar, y el mar no se llena. Al lugar de donde vienen los ríos, allí vuelven para correr de nuevo".  
Eclesiastes 1.7.*

La frase anterior resume en términos cualitativos, la gran problemática del origen y del movimiento del agua en la tierra, y aun cuando ella se remonta a la antigüedad, transcurrieron algunos siglos antes que el hombre pudiera entenderla en su totalidad.

Los primeros filósofos de la humanidad se preocuparon de este problema y elaboraron diversas teorías para explicar el camino que sigue el agua en su ciclo en la tierra. Hubo así, quienes pensaron que existía un conducto subterráneo que comunicaba los océanos con el centro de la tierra, y que desde allí el agua volvía a la superficie en las montañas, dando origen a los ríos, a la nieve y a los glaciares. Uno de los primeros que publicó una explicación similar a la que hoy conocemos, fue Leonardo de Vinci, quien identificó el papel primordial que juega la evaporación en este ciclo. No obstante este conocimiento cualitativo, sólo en 1880, Perrault, realizó las primeras mediciones en el río Sena, las cuales demostraron que la precipitación que caía anualmente en la cuenca era aproximadamente seis veces superior al escurrimiento anual que se observaba. Se constató así, en forma cuantitativa, por primera vez, que la lluvia podía ser la causa del escurrimiento.

En hidrología, se acostumbra a utilizar el llamado ciclo hidrológico para describir el origen, movimiento y la distribución del agua en la superficie de la tierra. Este enfoque explica en términos cualitativos los distintos fenómenos y procesos que intervienen en el problema, aun cuando constituye necesariamente, una visión simplista y limitada. La Figura 1 muestra los distintos elementos que participan en el ciclo del agua en la tierra. Se puede considerar, que el ciclo se inicia con la evaporación del agua de los océanos, lo cual proporciona una fuente de humedad para la atmósfera. Bajo condiciones adecuadas, la humedad atmosférica se condensa y forma nubes, las cuales pueden precipitar, dando origen a las lluvias o a la nieve en las zonas de bajas temperaturas. La lluvia que llega a la superficie de la tierra puede escurrir superficialmente, o bien, infiltrarse en el suelo, pasando a formar parte de la humedad del suelo o del agua subterránea que existe en él. El escurrimiento forma los ríos, esteros y arroyos, iniciando su viaje hacia el mar y cerrando de esta manera el ciclo hidrológico. Este cuadro simplificado se complica enormemente, debido a la gran variación

que experimentan los fenómenos nombrados, tanto en el espacio como en el tiempo. Sin embargo, es bastante útil para formarse una idea cualitativa de los fenómenos y procesos que intervienen.

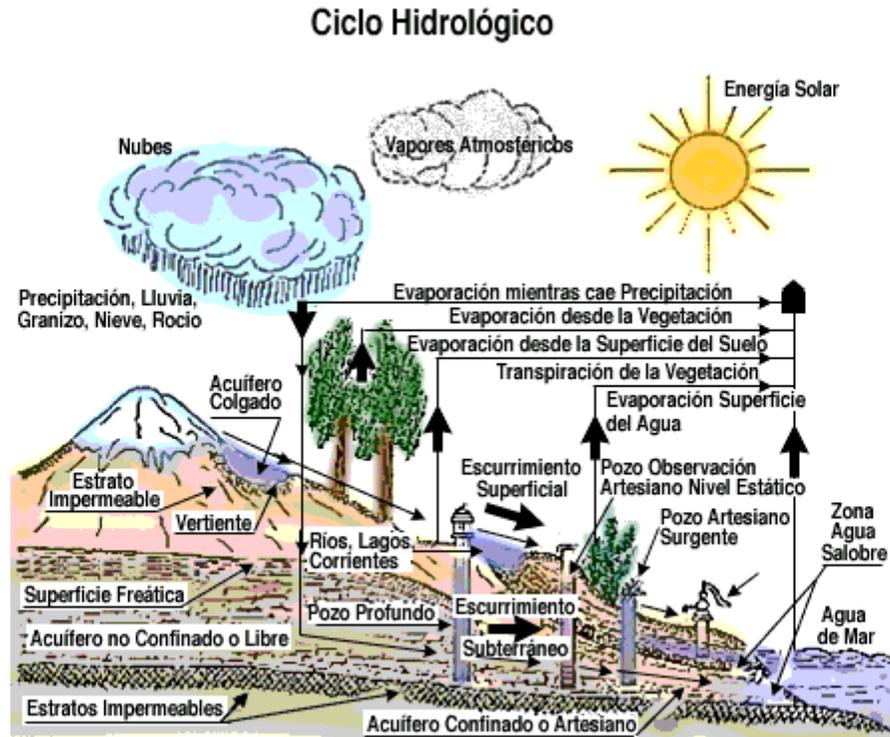


Figura 1

### 1.3 Distribución del agua en la tierra

El agua es la sustancia más abundante y común que existe en la biosfera. Se encuentra presente en la atmósfera, en los océanos y mares, en hielos y glaciares, en lagos y ríos, y en el subsuelo. En total, se estima que existen alrededor de 1500 millones de kilómetros cúbicos de agua. En la Tabla 1 se muestra una estimación de las cantidades de agua en sus distintas formas presentes en la tierra. Es interesante hacer notar que el 97% de ella, se concentra en los océanos y forma una reserva de agua salada, el 2% constituye los hielos y glaciares, de manera que, sólo un porcentaje inferior al 0,5%, constituye el agua fácilmente aprovechable por el hombre. Parece, a primera vista, una muy pequeña proporción del total de los recursos, pero ella es absolutamente indispensable para mantener la vida humana, y la flora y la fauna del planeta.

Las cifras indicadas en la tabla son cantidades tan grandes que es difícil formarse una idea de lo que ellas significan. Es quizás más claro visualizarlas, transformándolas en una altura de agua distribuida sobre toda la superficie de la tierra.

En este caso, el agua salada representa entre 2.700 y 2.800 metros de altura, los glaciares e hielos quedarían representados por una columna de 50 m a 100 m de altura, el agua subterránea por una columna de 45 m el agua superficial por 0,4 m y el valor de agua de la atmósfera por una altura de 3 cms.

**TABLA 1****Distribución del Agua en la Tierra**

Ref. : Leopold, L.B., "Water, a primer", W.H. Freeman & Co., San Francisco. 1974.

Ubicación	Volumen Miles de millones m <sup>3</sup>	Porcentaje
<b>Agua Superficial</b>		
Lagos de agua dulce	123.000	0,009
Lagos salinos y mares int.	102.400	0,008
Canales y río	1.229	0,0001
<b>Agua Subterránea</b>		
No saturada (humedad suelo)	65.500	0,005
Agua subterránea (hasta 800m)	4.100.000	0,31
Agua subterránea profunda	4.100.000	0,31
<b>Otras</b>		
Glaciares e hielo	28.600.000	2,15
Humedad en la atmósfera	12.700	0,001
Océanos	1.298.000.000	97,3
<b>Totales</b>	<b>1.335.104.829</b>	<b>100%</b>

## 1.4 Balance Global del Movimiento de Agua en la Tierra

Si se desea hacer un balance global del movimiento del agua en la tierra, se tienen las siguientes cifras. Se estima que la superficie de continentes recibe una precipitación promedio anual de 710 mm, de los cuales se evaporan a la atmósfera aproximadamente 470 mm. y se transforman en escurrimiento 240 mm. Sobre la superficie de mares y océanos, cae una precipitación promedio estimada de 1070 mm a 1140 mm, de los cuales se evaporan entre 1160 mm y 1240 mm, quedando un déficit de 100 mm, que equivalen a los 240 mm mencionados anteriormente. Numéricamente son distintos debido a la diferencia de superficies de mares y continentes.

## 1.5 Historia de la Hidrología

A continuación se resumen brevemente los rasgos principales de las distintas épocas que se pueden distinguir en la evolución de la hidrología a través de los siglos:

### [3200 - 600 BC](#)

Se ejecutan obras de aprovechamiento de aguas sin que existan conocimientos sistemáticos sobre la leyes que rigen el movimiento del agua ni su origen o distribución. Los principales ejemplos se encuentran en obras de regadío y de conducción realizadas en : Egipto, Grecia, Palestina, Persia, China, Siria, India. Dadas las necesidades de agua para la actividad humana, las grandes civilizaciones se ubican en las márgenes de ríos tales como : Nilo (Egipto), Tigris-Eufrates (Mesopotamia), Indus (India) y Huang-Ho (China).

### [600 BC - 100 BC](#)

La preocupación sobre el agua en este tiempo es fundamentalmente filosófica. Existe preocupación por estudiar el agua como uno de los elementos principales de la naturaleza y conocer su origen, distribución y movimiento. En este tiempo se pensaba que los principales elementos de la Tierra eran el agua, el fuego, el aire y la tierra.

Los principales nombres son : Tales de Mileto, Platón, Aristóteles, Herodoto, Teofrastus y Kautilya , a quien se conoce por haber propuesto establecer una red de medición de la lluvia en India con el fin de cobrar impuestos en base a la cantidad de lluvia que recibía cada región.

### [100 BC - 200 A.D. \(Civilización Romana\)](#)

Se construyen grandes obras de conducción y distribución del agua. Se le da importancia al abastecimiento de las ciudades (baños). Se inician mediciones de caudal. Las contribuciones principales de esta época se deben a Vitruvius (origen de fuentes y vertientes), Frontinus (de aquis urbis Romae) y Séneca.

### [200 A.D. - 1500 A.D.](#)

En este tiempo se instalan las primeras redes sistemáticas de medición de lluvias en Corea y China. Sin embargo, no se conocen avances de importancia en esta época.

### Siglo XVI

Empieza el nacimiento del pensamiento de tipo científico. Cabe mencionar en forma especial a Francis Bacon, Leonardo de Vinci ( Ciclo hidrológico, Mediciones de velocidad, Flujo en canales abiertos, Máquinas hidráulicas ), Bernard Palissy ( Ciclo hidrológico, Mareas, Meteorología.)

### Siglo XVII

Se presentan contribuciones y avances impresionantes en el área científica. Personajes de importancia por su contribución a la ciencia en general y a la hidrología en particular son los siguientes entre otros:

Galileo	
Kepler	
Newton	
Descartes	
Castelli	: Della misura dell'acque correnti
Torricelli	: Barómetro y ley hidrostática
Kircher	: Tratado de geología
Halley	: Evaporación
Wren	: Medidores de caudal
Hooke	: Barómetros
Gugliemini	: Canales
Perraut:	: mediciones cuantitativas de caudal y lluvia que demuestran la posibilidad que $P > Q$
Mariotte	: Movimiento de fluidos, hidráulica, hidrostática.

### Siglo XVIII

Vallisnieri	: tratado sobre el origen de los ríos
Pitot	: mediciones de velocidad
Bernoulli	: ecuación de energía
Chezy	: flujo uniforme en canales
Du Buat	: flujo uniforme en canales
Frisi	: hidrometría, hidráulica
Venturi	

### Siglo XIX

De Prony	: maquinaria hidráulica
Darcy	
Bazin	
Ganguillet-Kutter	
Manning	

Mulvaney : fórmula racional  
Dupuit : estudios del agua subterránea  
Thiem

En esta época nacen las primeras instituciones dedicadas a la recopilación de información hidrológica.

### Siglo XX

A pesar de los avances hasta la fecha, la mayor parte de la hidrología cuantitativa parte posteriormente a 1930 cuando se introducen conceptos desarrollados por : Mead, Horton y Sherman. Los avances de la computación y el cálculo numérico permiten en la década del 60 que se desarrollen los primeros modelos matemático-digitales del ciclo hidrológico. (Stanford Watershed Model)

## **2. PANORAMA GLOBAL DE LOS RECURSOS DISPONIBLES Y DE LAS NECESIDADES DE AGUA EN CHILE.**

### **2.1 Recursos de Agua**

No hay ninguna actividad del hombre que no requiera una disponibilidad segura y suficiente de agua con ciertas exigencias mínimas de calidad. Sin embargo, al igual que otros recursos naturales la distribución geográfica del recurso no siempre se adecúa a las necesidades de uso. En Chile este problema es en extremo agudo dada la gran longitud del país, y la diferencia de clima que ella trae consigo. Existen regiones donde el agua es muy escasa, hay otras donde no es un problema en la actualidad, pero puede llegar a serlo en el futuro, y por último, existen zonas donde hay recursos abundantes. En el Norte Grande y chico el agua es un factor que limita el desarrollo y la productividad. En el centro, se necesitan obras de infraestructura para mejorar y asegurar su aprovechamiento, y en el sur, en general, no constituye un problema pero en esta zona se debe cuantificar el recurso para optimizar su aprovechamiento. Con el objeto de entregar una visión panorámica de los recursos en Chile, se describirán las características generales de su clima, y del régimen de precipitaciones y de escurrimientos.

#### 2.1.1 Regiones climáticas de Chile

La gran longitud y pequeña anchura de nuestro país le confiere una gran variedad de climas y además impide que las condiciones sean tan extremas como podrían serlo. Así, el país se extiende, en su tramo continental, entre los 17 y 56 grados de longitud sur y en el se distinguen los siguientes climas.

**Clima desértico.** Corresponde a la región del Norte Grande, ubicada al norte de los 26 grados de latitud sur. La región es muy seca, casi sin precipitaciones, salvo en la zona de la alta cordillera.

**Clima semi-desértico.** Se observa en la zona del Norte Chica, ubicada entre los 26 y 31 grados de latitud sur. En esta zona, durante el invierno ocurren precipitaciones, las cuales ocasionalmente alcanzan importancia.

**Clima mediterráneo.** Corresponde al de la región ubicada en el centro-sur del país entre los 31 y 38 grados de latitud. Esta zona tiene veranos secos y cálidos e inviernos lluviosos.

**Clima lluvioso.** Este clima es característico de la región ubicada al sur del paralelo 38, donde la lluvia se presenta casi todo el año.

En el marco de este esquema general, se encuentran algunas regiones con climas especiales, en particular, en las zonas de alta cordillera en la zona norte, donde existe un clima de tundra y en las áreas cordilleranas de la zona central.

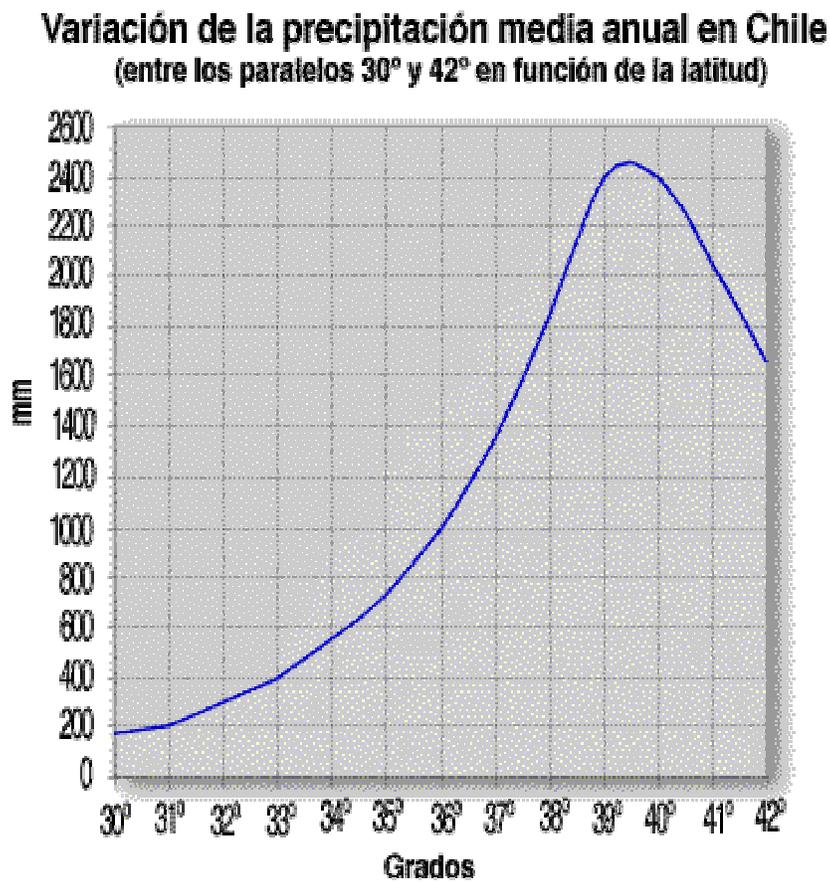
### 2.1.2 Variación de las precipitaciones

Las diferencias de clima descritas, se traducen en una gran variación de las precipitaciones, existiendo en general un aumento de las lluvias con la latitud. Las lluvias son prácticamente nulas en la primera y segunda región y son considerables en la zona sur. Así por ejemplo, Tocopilla tiene una lluvia media anual de sólo 3 mm, Antofagasta 11 mm y Valdivia 2.470 mm. En la Figura 2 se muestra la variación de la precipitación media anual en Chile en función de la latitud, para la región comprometida entre los 30 grados y los 41 grados de latitud sur, considerando los datos de estaciones seleccionadas.

En la dirección oeste-este también se constata una variación en las precipitaciones. La Cordillera de la Costa produce un ascenso de las masas de aire húmedo que vienen del Océano Pacífico, y ello produce precipitaciones en la vertiente occidental y una disminución de las lluvias en la vertiente oriental. La Cordillera de Los Andes provoca un nuevo ascenso del aire y por consiguiente, un aumento de las precipitaciones con un clima de nieve en las zonas altas.

La variación general descrita, se ve alterada en muchos puntos por condiciones particulares que generan una situación meteorológica especial.

Figura 2



### 2.1.3 Escurrimiento

La variación climática y del régimen de precipitaciones descrito, tiene como consecuencia un régimen de escurrimiento bastante variable. En la Figura 3 se muestra la variación que se observa en la producción específica de las cuencas cordilleranas en función de la latitud. Se puede notar que existen dos zonas bastante diferenciadas. La primera situada entre los paralelos 22 y 31 grados de latitud sur, en la cual la producción específica no supera 1 litro por segundo por kilómetro cuadrado y la otra ubicada entre los 31 grados y los 43 grados de latitud, donde la producción específica varía entre 5 y 100 litros por segundo por kilómetro cuadrado.

En la zona norte, dado que el escurrimiento es muy escaso, los ríos, en general, no alcanzan a llegar al mar, y se evaporan o infiltran en los salares durante su recorrido. En cuanto a la variabilidad del caudal durante el año los ríos de esta zona presentan normalmente caudales muy bajos o nulos en la mayor parte del año y crecidas ocasionales de gran caudal y corta duración durante la época de precipitaciones en la cordillera.

Los ríos del norte chico, son también de caudales muy limitados y uniforme a lo largo del año, presentando un pequeño aumento durante la época de deshielo.

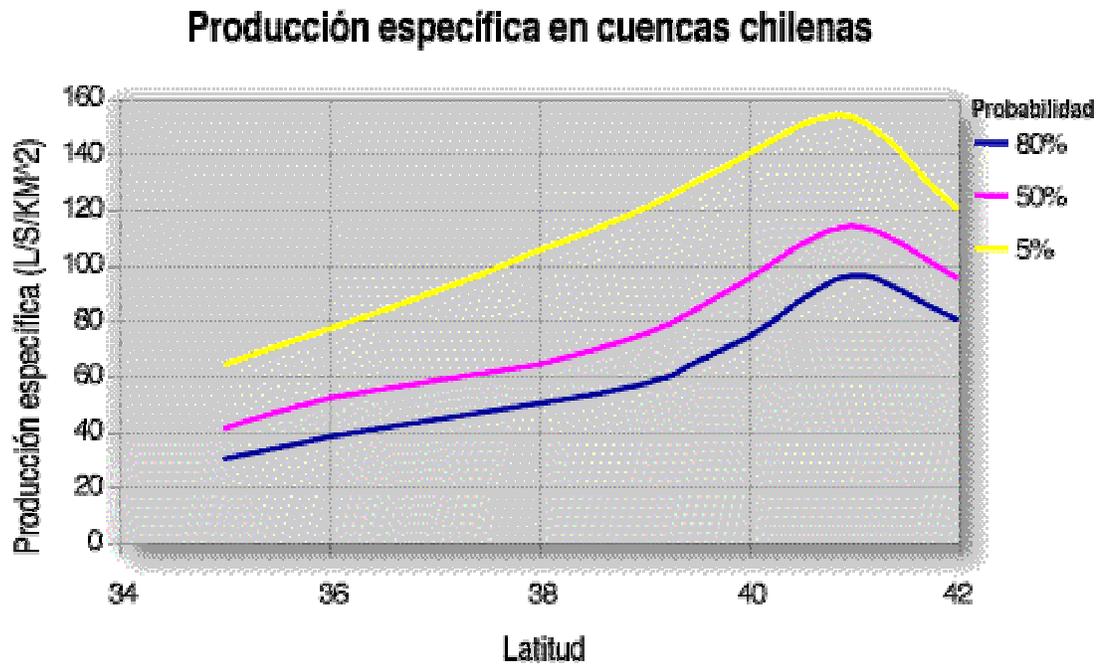
En la zona central los ríos tienen un régimen típico de deshielo en que el caudal aumenta significativamente a partir de octubre, presentándose en los meses de verano valores de caudal del orden de dos a tres veces el promedio anual. Entre el río Maule y el Bío Bío el régimen es mixto, y es normal que se produzcan dos épocas de caudales máximos, una durante la época de deshielo y otra durante la época de lluvias.

Al Sur del Bío-Bío los ríos presentan un régimen fundamentalmente pluvial con caudales abundantes y producciones específicas de aproximadamente 80 a 100 l/s/km<sup>2</sup>.

Las características generales descritas se pueden apreciar en la Figura 4, la cual muestra la variación estacional de la precipitación y del caudal para varios ríos de Chile.

La variabilidad inter-anual que se observa en el escurrimiento, también es mayor en la zona norte y disminuye hacia el sur.

Figura 3



## 2.2 Utilización del agua

Existe poca información completa y actual, sobre la utilización de los recursos hidráulicos en Chile. Los primeros trabajos globales en este aspecto fueron publicados por CEPAL en 1960. Posteriormente en 1969 Wollman publicó un libro sobre los recursos de agua en Chile y presentó una metodología para la planificación de su aprovechamiento. Otros estudios realizados por la Dirección General de Aguas, por el Ministerio de Obras Públicas y por la Comisión Nacional de Riego, son estudios sobre áreas específicas.

Se ha dicho que el agua es un elemento esencial para la vida del hombre, siendo sus principales usos, el consumo urbano, los usos mineros e industriales, el regadío y la generación hidroeléctrica.

### 2.2.1 Consumo urbano

Este tipo de uso constituye el más fundamental por su importancia, aun cuando el volumen es relativamente pequeño. La demanda de agua potable varía de acuerdo con el clima, hábitos sociales, necesidades de riego de jardines, disponibilidad, etc. Sin embargo, se puede pensar que en promedio se utilizan entre 200 y 400 litros por habitante por día. Por lo tanto, teniendo Chile una población del orden de 12 millones de habitantes el uso de agua es de alrededor de 1200 millones de metros cúbicos al año, lo que equivale a un caudal uniforme de 42,1 metros cúbicos por segundo. Esta cantidad no es importante, aun cuando existen problemas locales de abastecimiento, siendo los más graves los de las ciudades costeras en el litoral central y los de algunas ciudades en el norte, tal como, el de la ciudad de Antofagasta.

### 2.2.2 Consumo industrial y minero

El mayor porcentaje de agua industrial consumida se presenta en las grandes instalaciones de este rubro. La industria de la celulosa y el papel emplea alrededor del 30%, la industria metalúrgica el 30% y la industria química el 15%. El resto del consumo corresponde a las industrias textiles, combustibles, lubricantes y alimenticias. Se estima que el consumo anual de agua en industrias es del orden de 550 millones de metros cúbicos al año, concentrándose, la mayor parte de este total, en tres ciudades, Santiago (53%), Valparaíso (18%) y Concepción (14%). Este volumen representa un caudal continuo de 17,4 metros cúbicos por segundo.

En cuando a la minería, los principales consumidores son la producción de cobre y de salitre. La producción de una tonelada de cobre requiere el uso de 144 metros cúbicos de agua, y para producir una tonelada de salitre se necesitan 7 metros cúbicos de agua. En consecuencia, se puede estimar que la producción anual de estos minerales, en la actualidad, requiere de 151 millones de metros cúbicos de agua, lo que representa un caudal continuo de 4,7 metros cúbicos por segundo.

En cuanto a la minería, los principales consumidores son la producción de cobre y de salitre. La producción de una tonelada de cobre requiere el uso de 144 metros cúbicos de agua, y para producir una tonelada de salitre se necesitan 7 metros cúbicos de agua. En

consecuencia, se puede estimar que la producción anual de estos minerales, en la actualidad, requiere de 151 millones de metros cúbicos de agua, lo que representa un caudal continuo de 4,7 metros cúbicos por segundo.

### 2.2.3 Regadío

El riego, es sin duda, el gran consumidor de agua. En Chile se necesita riego artificial en mayor o menor grado, desde el norte hasta aproximadamente la latitud de la ciudad de Temuco, ya que la precipitaciones son insuficientes para abastecer las necesidades de los cultivos. Se estima que en Chile hay del orden de 2,5 millones de hectáreas económicamente regables, de las cuales 1,2 millones se riegan en condiciones aceptables, 0,8 millones de hectáreas no cuentan con riego y el resto se riegan en forma eventual.

Las necesidades de agua para abastecer los cultivos son variables, pues dependen del tipo de cultivo, de su grado de desarrollo y de condiciones climáticas de lugar, sin embargo, con el fin de tener una idea global de las necesidades, se puede suponer que en promedio se necesitan 10.000 metros cúbicos de agua por hectárea al año, lo que significa un consumo anual de 26.800 millones de metros cúbicos, lo que representa un caudal continuo de 1.600 metros cúbicos por segundo, durante los seis meses de riego en el año.

### 2.2.4 Generación de energía

Otro usuario importante de agua es la generación de energía hidroeléctrica. Sin embargo, este uso del agua no es consuntivo, sin que sólo disminuye la energía disponible, entregando el recurso a otra altura y a otra ubicación en el espacio. Se calcula que se necesitan 5,66 metros cúbicos de agua en promedio para generar un KWH. Con este factor promedio, se puede calcular que en la actualidad se emplean alrededor de 43.500 millones de metros cúbicos al año en la generación de hidroelectricidad.

### 2.2.5 Resumen

La tabla siguiente resume los principales consumos de agua en Chile, estimados de acuerdo a lo explicado anteriormente.

Consumo	Consumos de Agua en Chile		
	Volumen Anual (millones de m <sup>3</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje %
Urbano	1.200	38	1,3
Industrial y minero	700	22	0,7
Regadío	26.800	1600	52,6
Hidroelectricidad	43.500	1380	45,4

Se puede apreciar en las cifras anteriores que la mayor parte de los recursos de agua se utilizan en el riego. Si se considera sólo los usos que consumen agua alrededor del 96% del agua se emplea en el regadío agrícola.

### **2.3 Balance Global**

Como se puede apreciar por las cifras expuestas, los recursos de agua son en general muy superiores a las necesidades. Sin embargo, los mayores problemas son de ubicación y distribución del recurso, ya que la disponibilidad no coincide con el lugar donde se necesita ni con el instante del tiempo en que se requiere. Existen, además, muchos problemas puntuales de abastecimiento que son especialmente difíciles de resolver. Entre ellos destacan, el abastecimiento de agua potable en algunas ciudades nortinas y del litoral central, y el regadío del Norte Grande y Chico, aun cuando las extensiones a regar son reducidas.

### **3. AGUA Y CONTAMINACIÓN (B.Sáez)**

El aprovechamiento del agua por el hombre requiere no solo disponer de ella en la cantidad necesaria y en el momento adecuado, sino que además, necesita que ella tenga los requisitos de calidad compatibles con el uso al cual se va a destinar. Por ello, en este punto se discutirán algunos aspectos relacionados a la contaminación.

#### **3.1 ¿Qué es la contaminación?**

La contaminación es una faceta de los problemas ambientales y constituye un signo altamente visible y a veces peligroso de deterioro ambiental y ocurre cuando se acumulan materiales indeseados en lugares inapropiados. La contaminación amenaza los sistemas naturales, la salud humana y la sensibilidad estética, ya que representa usualmente recursos valiosos fuera de lugar.

La definición anterior merece ciertos comentarios adicionales. En primer lugar, se ha dicho que la contaminación es la acumulación de materiales en lugares no deseados. El adagio "el alimento de uno es el veneno de otro" es claramente pertinente en este contexto. Por ejemplo, el oxígeno disuelto es un componente crucial para juzgar la calidad del agua de una corriente, pero podría ser altamente perjudicial en el agua de alimentación de una caldera por los problemas de corrosión que causa. Las descargas de aguas calientes causan cambios importantes en el medio acuático y estos cambios se consideran indeseables. Sin embargo, en lugares donde se cultivan algunos mariscos un cambio de temperatura es a veces deseable y beneficioso. Por ello, cuando se considera el amplio rango de posibles usos de agua, es claro que muy a menudo, se producirán conflictos.

Casi todas las actividades económicas (agricultura, minería, industria manufacturera, transportes, etc.) producen sub-productos que pueden ser considerados contaminación. Obviamente, una posible solución a los problemas ambientales es reducir estas actividades, pero en muchos casos, las consecuencias sobre la calidad de la vida sería más serias.

Si la contaminación representa recursos valiosos fuera de lugar, una alternativa de solución es aprovecharlos o reciclarlos. Ello no se hace debido a que los materiales tienen escasa importancia, no existe el conocimiento científico o técnico suficiente para aprovecharlos, no se cuenta con un marco social, político o legal para hacerlo, o bien, los costos de utilizarlos son mayores que los beneficios.

En resumen, la contaminación produce efectos indeseables, pero como consecuencia natural de procesos deseables. Así, su disminución o eliminación debe ser analizada, tomando en consideración los beneficios y los costos asociados.

#### **3.2 Contaminación del agua**

Normalmente se consideran siete tipos distintos de contaminación en el agua :

- bacteriana o viral
- productos químicos tóxicos y/o peligrosos
- orgánica

- eutroficación
- térmica
- petróleo y derivados
- radioactiva.

A continuación se describirá en mayor detalle algunos de estos tipos de contaminación.

### 3.2.1 Contaminación bacteriológica o viral

Las enfermedades transmitidas por aguas contaminadas han azotado la sociedad desde el desarrollo de las grandes poblaciones. Las aguas residuales de pueblos y ciudades frecuentemente contaminan las fuentes de agua potable con bacterias y virus patógenos. Hoy en día, existe el conocimiento técnico necesario para resolver este problema, pero no siempre se cuenta con los recursos económicos para hacerlo. La mayoría de las enfermedades bacterianas provenientes del agua, ya han sido controladas, y se están resolviendo los contagios provenientes de enfermedades virales.

### 3.2.2 Productos químicos tóxicos

Desde la década de los años cuarenta, la industria química ha desarrollado innumerables productos químicos orgánicos sintéticos, como ser, pesticidas, herbicidas, insecticidas, etc., los cuales son altamente peligrosos y tóxicos. El problema se agrava aun más, por el hecho que muchas de estas sustancias son extremadamente estables y por consiguiente su presencia en el medio ambiente crece continuamente y no se degradan.

### 3.2.3 Contaminantes orgánicos

Estos materiales orgánicos no son tóxicos por si mismos, sino que la descarga de cantidades de residuo orgánico a una masas de agua receptora causa un agotamiento del oxígeno de este receptor. El nivel de oxígeno disuelto en una corriente aguas arriba de una descarga contaminante puede ser de 7 a 10 mg/l, dependiendo de la temperatura de la corriente, y con este nivel, existe una población diversificada de peces, mariposas, caracoles e insectos acuáticos. Cuando se introduce el contaminante orgánico, aumenta grandemente el número de bacterianas presentes, quienes usan el oxígeno en el agua para estabilizar el residuo orgánico. El nivel de oxígeno baja, resultando en un ambiente adecuado sólo para organismos tolerantes a la contaminación. Si el oxígeno cae a cero, el agua llega al estado de putrefacción, teniendo mal olor y color negro. Debido a la falta de oxígeno, mueren todos los peces y los organismos acuáticos superiores, permaneciendo sólo las bacterias de putrefacción.

Transcurrido un cierto tiempo y distancia aguas abajo de la descarga contaminante, la corriente se recuperara mediante procesos de purificación natural. El oxígeno disuelto retornará a niveles más alto y nuevamente se encontrará una población diversificada de organismos. Por este motivo, el nivel de oxígeno disuelto en una corriente es una buena medida de su salud.

### 3.2.4 Eutrofización

Los efluentes líquidos de tierras agrícolas, urbanas y los residuos domésticos e industriales contienen materiales ricos en nutrientes que pueden estimular el crecimiento de algas. Estos florecimientos pueden cubrir lagos, lagunas y algunas corrientes a fines del verano, haciéndolos inadecuados para usos recreacionales e impartiendo colores, sabores y olores negativos para las fuentes de abastecimiento de agua. A medida que las algas experimentan el ciclo de crecimiento y muerte, el nivel de oxígeno puede caer a niveles que afectan adversamente la supervivencia de la población de peces, causando pérdidas considerables a los deportes y a la industria pesquera.

Este enriquecimiento rápido de nutrientes se conoce como eutrofización. Los principales elementos responsables del efecto son el nitrógeno y el fósforo, aunque la materia orgánica también contribuye a la eutrofización.

### 3.2.5 Contaminación térmica

El uso del agua para condensar el vapor producido por turbinas de vapor generadoras de electricidad, es la causa principal de la contaminación térmica. Debido a la cantidad de calor que tiene que ser disipada, se deben usar grandes volúmenes de agua de enfriamiento, la cual aumenta considerablemente su temperatura e incrementan la temperatura del cuerpo receptor.

Debido al volumen de agua usada, una porción significativa de la población de organismos presentes en la corriente puede morir por exposición a altas temperaturas, al ser conducidos directamente a la planta generadora junto con el agua de enfriamiento. Los organismos acuáticos que permanecen en la masa principal de agua también pueden ser afectados por el aumento neto en la temperatura, el cual puede ser beneficioso o dañino, dependiendo del tipo de especie.

### 3.2.6 Contaminación debido al petróleo

Durante el proceso de extracción y en el transporte del petróleo, ocurren accidentes que descargan considerables cantidades de petróleo en mares y océanos. También existe evidencia que las filtraciones de petróleo desde la tierra hacia algunas áreas del océano están agregando cantidades significativas.

El problema llega a ser severo cuando este petróleo está concentrado en un área. Un desastre con un barco grande descargará más de doscientas mil toneladas de petróleo al océano. El impacto sobre playas, zonas costeras y pájaros acuáticos ha sido bien documentado durante los años recientes.

Además del daño a zonas costeras, los petróleos que contienen una proporción alta de componentes de bajo punto de ebullición son extremadamente tóxicos para la vida marina. Los pájaros acuáticos se ven adversamente afectados por el petróleo que cubre sus plumas, impidiéndoles flotar sobre el agua o aun volar. Asimismo, el petróleo puede destruir sus lugares de alimentación o puede ser directamente tóxico para dichas aves. El efecto a largo plazo de la contaminación debida al petróleo es actualmente desconocido.

### 3.2.7 Substancias radiactivas

Los elementos radiactivos entra al agua en pequeñas cantidades de descargas provenientes del procesamiento de uranio, laboratorio y plantas de energía nuclear. Debido al pronto reconocimiento de los peligros involucrados, se han escogido estándares estrictos para su manejo y disposición, exigiéndose un extenso muestreo.