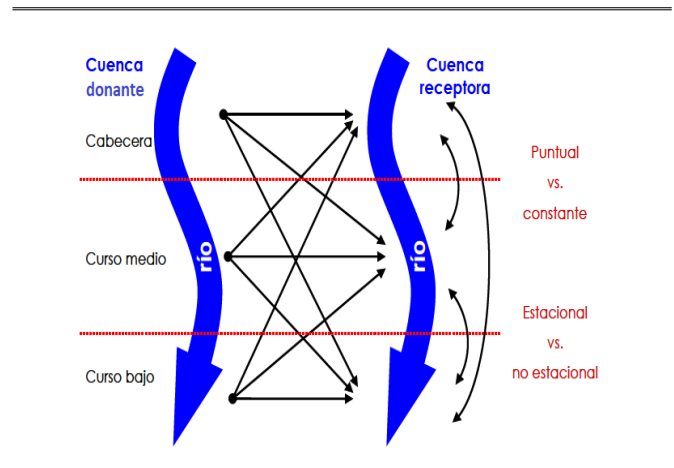
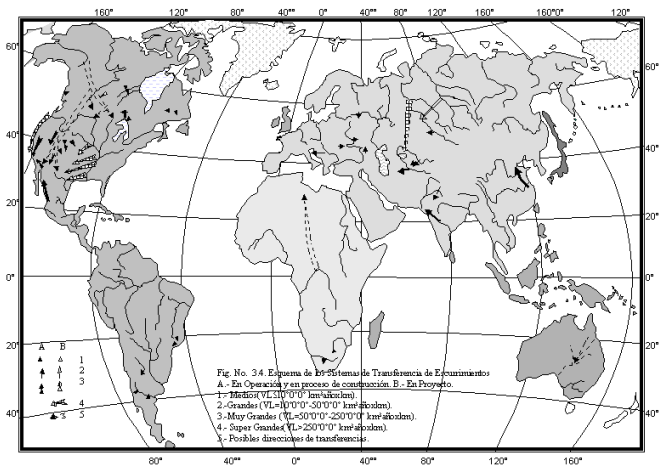
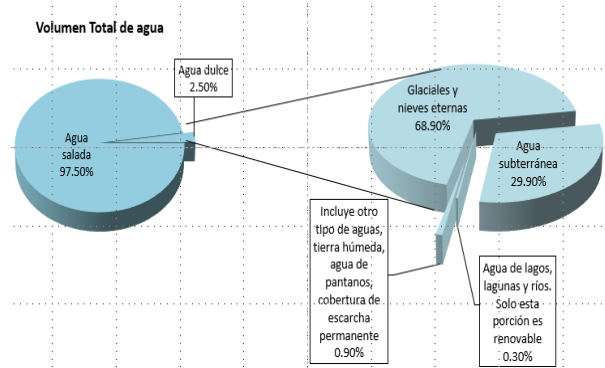
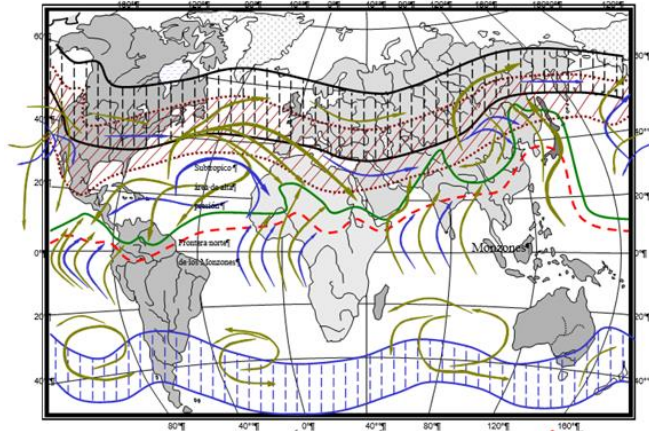


# Los recursos hídricos del planeta y su redistribución territorial en las cuencas hidrológicas

## Водные ресурсы планеты и их территориальное перераспределение в гидрологических бассейнах



Juan José Domingo Olvera Suárez  
 (Ph.D.) en Ciencias Técnicas  
 (Hidrología Continental, Recursos Hídricos)

Dedico esta obra a la memoria postuma del maestro.

**Воропаев Григорий Васильевич**

**Voropaev Grigory Vasilievich**

**Dr. en *Ciências Técnicas***, Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias de Rusia, exdirector del Instituto de Problemas del Agua de la Academia de Ciencias de Rusia.



**Dedico esta obra a mis padres, esposa, hijos y nietos**

Mis agradecimientos por el apoyo a esta publicación por la AMH nacional.

## Contenido

Prologo.....	7
Introducción.....	11
<b>Problemas de la demanda de agua y las transferencias de agua superficial en las cuencas hidrológicas.....</b>	<b>14</b>
1.- Los recursos hídricos a nivel global y su distribución espacial y temporal.....	14
1.1.- Las aguas superficiales y su distribución espacial y temporal a nivel global. ....	14
1.2.-La variación temporal de los escurrimientos en los ríos.....	34
1.3.- Los recursos hídricos en el planeta y el ciclo hidrológico. ....	36
<b>2.- Efectos antropogénicos en los cambios climáticos y los recursos hídricos. ....</b>	<b>47</b>
2.1.- Renovación de los recursos hídricos y su variabilidad espacial y temporal.....	47
2.1.1.- Información inicial y enfoques metodológicos. ....	47
2.1.2.- Regiones económicas de los continentes. ....	48
2.1.3.- Los ríos más importantes del planeta. ....	60
2.1.4.- Escurrimientos superficiales y subterráneos. ....	60
2.1.4.1.- Usos del agua .....	60
2.1.4.2.- Las tendencias y desarrollo de los principales usos del agua. ....	63
2.1.5.- Los pronósticos sobre el uso del agua a nivel mundial y los fundamentos metodológicos para su evaluación.....	66
2.1.6.- Dinámica de los usos del agua en los continentes y a nivel global.....	66
2.1.7.- Los recursos hídricos y los usos del agua.....	75
2.1.8.- La disponibilidad de agua y su déficit.....	75
2.1.9.- Los recursos hídricos y los cambios globales en el clima y el medio ambiente por efecto de las acciones antropogénicas.....	78
<b>3.- Alternativas para mitigar el déficit de agua en algunas regiones continentales. .</b>	<b>81</b>
3.1.- Uso de aguas salobres y saladas. ....	86
3.2.- Generación artificial de lluvia en grandes superficies territoriales .....	86
3.3.- La redistribución territorial de los recursos hídricos como una forma segura para la obtención adicional de volúmenes importantes de agua dulce.....	87
3.4.- Tipos, dimensiones y soluciones hidrotécnicas para una redistribución territorial de los escurrimientos superficiales en el planeta.....	89
3.4.1.- Clasificación y dinámica de las transferencias de escurrimientos de agua superficial de una cuenca hidrológica a otra. ....	89

3.4.1.1.- Criterio hidrográfico.....	99
3.4.2.- Soluciones hidrotécnicas e ingenieriles para la distribución territorial de los recursos hídricos. .....	103
<b>4.- Los problemas del agua y los sistemas de transferencia de escurrimientos en diversos países del mundo .....</b>	<b>112</b>
4.1.- América del Norte .....	112
4.1.1 MÉXICO.....	124
4.2.- América del sur .....	136
4.3.- Eurasia.....	141
4.3.1.- Los problemas que hay que enfrentar, para poder efectuar la transferencia de escurrimientos en los países de Asia y Europa.....	142
4.3.2.- Descripción de los sistemas de transferencia de escurrimientos más grandes de Rusia, así como de los países pertenecientes a la cuenca del río Danubio, China, la India y Pakistán. ....	144
<b>Francia .....</b>	<b>150</b>
<i>Alemania .....</i>	<i>151</i>
<i>España .....</i>	<i>155</i>
4.3.4 La India .....	168
4.3.5 Pakistán .....	172
Fuente: Elaboración propia con datos de Shiklomanov I.A.....	173
4.4.- África .....	174
4.4.1 La transferencia de escurrimientos de agua y su problemática.....	174
4.5 Australia y Oceanía.....	179
4.5.1 Transferencia de escurrimientos en Australia y Oceanía.....	182
<b>5. La influencia en el medio ambiente por la transferencia de escurrimientos de agua de grandes dimensiones.....</b>	<b>186</b>
5.1 El rol y nivel de la evaluación de los pronósticos ecológicos, debido a los problemas que surgen por la redistribución territorial de los escurrimientos. ....	186
<b>6. Métodos y principales líneas de evaluación de futuros escenarios. ....</b>	<b>190</b>
6.1 Posibles efectos irreversibles a nivel global .....	194
6.2 Influencia de la redistribución territorial de los escurrimientos fluviales sobre las condiciones climáticas.....	194
6.3 Influencia de la redistribución territorial de los escurrimientos de agua sobre el balance hidráulico y el régimen hidrológico.....	195
6.4 Problemas de la calidad del agua .....	197
6.5 Aspectos socioeconómicos y legislativos por la redistribución territorial de los escurrimientos de agua.....	199

6.6 Aspectos socioeconómicos respecto a una redistribución territorial de los escurrimientos de agua.  
..... 202

6.7 Costos y actividad económica por la transferencia de escurrimientos de agua ..... 202

6.8 Aspectos legales y sociales por la redistribución territorial de los recursos hídricos. .... 205

**7 Conclusiones**..... 206

**8 Bibliografía** ..... 211

## Prologo.

Un tema que sin duda se considera de actualidad en el mundo contemporáneo, es la problemática para abastecer de agua a una población en constante crecimiento, incluyendo las demandas de agua en la agricultura y la industria.

La situación tan tensa que sufren los recursos de agua continentales en muchas regiones del planeta, así como la desmedida contaminación de los ríos y cuerpos de agua, han obligado a muchas naciones a buscar diversas alternativas para tratar de cubrir el déficit de agua que padecen sus habitantes como el cuidado y preservación de este preciado recurso, la limpieza de aguas contaminadas y la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento. En tal virtud, se convierte en una necesidad fundamental, la administración de los recursos hídricos existentes y los diversos usos a los cuales se destina el agua, así como pronosticar la condición a mediano y largo plazo, para proteger los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Una de las alternativas que permitirá resolver los problemas de agua actuales, es la distribución temporal y territorial de los escurrimientos de agua en nuestro país y en el mundo. Cabe hacer mención que las investigaciones de los últimos años, realizadas en torno a la transferencia de escurrimientos y conforme estos van creciendo en sus dimensiones, el costo que representa se incrementa de forma significativa, de la misma manera impactan al medio ambiente en forma sustancial. Los pronósticos de sus efectos en gran medida son indefinidos, además de que son complejos, para resolver los problemas sociales y legales que puedan surgir de estas obras, debido a la redistribución territorial de enormes volúmenes de agua entre diversas regiones hidrológicas y administrativas.

Por lo anterior, en muchos países del mundo, la construcción de obras hidráulicas de grandes dimensiones relacionadas con sistemas de transferencia de escurrimientos de agua entre cuencas hidrológicas, se manejan con mucho cuidado. Primero se realizan estudios científicos para poder determinar la factibilidad económica de su realización, así como de los aspectos sociales, legales y ambientales, planteando una gama de alternativas para cubrir el déficit de agua; aplicando en primer término el uso eficiente del agua y de la infraestructura hidráulica existente a fin de optimizar su uso y manejo, así como mejorar y preservar la calidad del agua. Sin embargo, esta alternativa y propuesta para dar solución al problema de abastecimiento de agua, ha sido objeto de fuertes discusiones y críticas a nivel mundial, desde el punto de vista ambiental y social.

No obstante que en muchos países se han efectuado estudios e investigaciones en forma integral para poder sustentar las alternativas de construcción de grandes sistemas de transferencia de escurrimientos de agua, y a pesar de la gran experiencia adquirida en la práctica por las obras hidráulicas realizadas, así como por las investigaciones científicas efectuadas, no se han cubierto en su totalidad los efectos que pudiesen provocar en el medio ambiente, debido a las acciones antropogénicas, por lo que no han adquirido a plenitud su validación.

El Dr. (Ph.D.) Juan José Domingo Olvera Suárez, quien se ha preocupado por el tema hidrológico en Oaxaca, realiza un esfuerzo por mostrarnos el panorama mundial de la problemática de abastecimiento de agua, el cual, además de interesante y bien documentado, sin duda será una aportación importante en el campo de la investigación de los recursos hídricos y que nos permitirá analizar y visualizar, la solución a los problemas de agua en nuestro país.

Su investigación, refleja los resultados alcanzados en diversos países, así como el caso del Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste (SHINO) en nuestro país, y otros sistemas de transferencia de escurrimientos de agua para cubrir las demandas de agua de grandes centros de población, áreas productivas y parques industriales. A pesar de que existe una gran cantidad de publicaciones en la materia, no se les da un enfoque global, por lo que este libro, cubrirá este vacío, propone en alguna medida resolver esta deficiencia, ya que se aboca a los problemas globales de desabasto de agua, contemplando desde la adopción de una nueva cultura del agua, hasta los Sistemas de Transferencia de Escurrimientos de Agua en sus diversas magnitudes.

Se ven reflejados también en el presente documento, los años de estudios del Olvera Suárez Juan José Domingo Ph.D (en ciencias técnicas), en el Instituto de Problemas del Agua de la Academia de Ciencias de Rusia, bajo la dirección del notable científico, Voropaev Gregory Vasilievich Dr. (en Ciencias Técnicas) miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de Rusia, quien dio inicio a su búsqueda en el campo de la hidrología continental y los recursos hídricos. Por lo que el presente trabajo científico es

resultado de años de ardua investigación, con referencia a un sin número de trabajos en la materia, en todos los aspectos del uso de los recursos hídricos, así como de las diversas transferencias de escurrimiento, existentes en el mundo.

El trabajo de Olvera Suárez, seguidor de Voropaev Gregory Vasilievich Dr. en Ciencias Técnicas especialista en el campo de hidrología continental y recursos hídricos, fallecido en 1999 en Moscú Rusia, servirá de marco de referencia a los estudiosos del manejo y administración de recursos hídricos sobre las alternativas para enfrentar la problemática de abastecimiento de agua a las poblaciones y sus diversas demandas. Este libro representa un buen complemento a los trabajos realizados por otros investigadores de las áreas de conservación y manejo de los recursos hídricos.

**Ing. Julián Rubén Ríos Ángeles**



## Предисловие.

Вопросом, который, несомненно, считается актуальным в современном мире, является проблема обеспечения водой постоянно растущего населения, в том числе потребности в воде сельского хозяйства и промышленности.

Напряженная ситуация с внутренними водными ресурсами во многих регионах планеты, а также чрезмерное загрязнение рек и водоемов вынудили многие страны искать различные альтернативы, чтобы попытаться покрыть дефицит воды, от которого страдают их жители, такие как уход и сохранение этого драгоценного ресурса, очистка загрязненной воды и поиск новых источников снабжения. Таким образом, становится фундаментальной необходимостью управлять существующими водными ресурсами и различными видами использования воды, а также прогнозировать состояние в среднесрочной и долгосрочной перспективе, защищать поверхностные и подземные водные объекты.

Одной из альтернатив, которая позволит решить текущие водные проблемы, является временное и территориальное распределение стока воды в нашей стране и в мире. Стоит отметить, что исследования последних лет, проведенные вокруг переноса стока, и по мере того, как они увеличиваются в размерах, значительно увеличивают стоимость, которую они представляют, так же как они существенно влияют на окружающую среду. Прогнозы его последствий во многом неопределенны, помимо сложности решения социальных и правовых проблем, которые могут возникнуть в результате этих работ, в связи с территориальным перераспределением огромных объемов воды между различными гидрологическими и административными районами.

Поэтому во многих странах мира к строительству крупных гидротехнических сооружений, связанных с системами переброски стока между гидрологическими бассейнами, относятся с большой осторожностью. Во-первых, проводятся научные исследования, позволяющие определить экономическую целесообразность ее реализации, а также социальные, правовые и экологические аспекты, предлагая ряд вариантов покрытия водного дефицита; применение в первую очередь эффективного использования воды и существующей гидротехнической инфраструктуры с целью оптимизации ее использования и управления, а также улучшения и сохранения качества воды. Однако эта альтернатива и предложение по решению проблемы водоснабжения стали предметом бурных дискуссий и критики во всем мире с экологической и социальной точек зрения.

Несмотря на то, что во многих странах были проведены всесторонние исследования и исследования, чтобы иметь возможность поддержать альтернативы строительства крупных систем переброски стока, и несмотря на большой опыт, приобретенный на практике в результате проведенных гидротехнических работ, а также благодаря проведенными научными исследованиями последствия, которые они могли бы вызвать в окружающей среде, не были полностью освещены в связи с антропогенными воздействиями, в связи с чем они не получили в полной мере своего обоснования.

Доктор (Ph.D.) Хуан Хосе Доминго Ольвера Суарес, который был обеспокоен гидрологической проблемой в Оахаке, пытается показать нам мировую панораму проблемы водоснабжения, которая, помимо того, что интересна и хорошо задокументировано, несомненно, станет важным вкладом в области исследования водных ресурсов и позволит нам проанализировать и наглядно представить решение водных проблем в нашей стране.

Его исследования отражают результаты, достигнутые в различных странах, а также на примере Северо-Западной объединенной гидросистемы (ШИНО) в нашей стране и других систем переброски стока для покрытия потребности в воде крупных населенных пунктов, территорий производственных и промышленных парков. Несмотря на то, что существует большое количество публикаций на эту тему, в них не дан глобальный подход, поэтому данная книга восполнит этот пробел, она предлагает в какой-то мере решить этот недостаток, так как затрагивает глобальные проблемы нехватки воды, созерцая от принятия новой водной культуры до систем перекачки стоков в их различных масштабах.

В этом документе отражены также годы учебы Ольверы Суареса Хуана Хосе Доминго, кандидата технических наук, в Институте Водных Проблем Российской Академии Наук под руководством известного ученого Воропаева Григория Васильевича, Доктора Технические Наук. (по техническим наукам) Член-Корреспондент РАН, начавший свои исследования в области Гидрологии Суши и Водных Ресурсов. Таким образом, настоящая научная работа является результатом многолетних

кропотливых исследований, со ссылкой на ряд работ по данному вопросу, во всех аспектах использования водных ресурсов, а также различных переносов стока, существующих в мире.

Творчество Ольвера Суареса, последователя Воропаева Григория Васильевича, доктора технических наук, специалиста в области Гидрологии Суши и Водных Ресурсов, скончавшегося в 1999 г. в Москве, Россия, послужит ориентиром для ученых в области управления водными ресурсами об альтернативах решения проблемы водоснабжения населения и его разнообразных потребностей. Эта книга представляет собой хорошее дополнение к работе, выполненной другими исследователями в области сохранения и управления водными ресурсами.

**Инж. Хулиан Рубен Риос Анхелес**

## Introducción.

Como sabemos el clima, es el resultado de una compleja relación de diversos factores, que se encuentran en cada momento del tiempo en un determinado equilibrio, por tanto, esta es una relación sumamente compleja, en un sistema de balance o equilibrio, muy sensible a la radiación solar, la cual es absorbida por la corteza terrestre y la atmósfera. Las variaciones del balance global de radiación, están relacionados históricamente con los cambios significativos de las condiciones de la temperatura en la superficie de la tierra. Cuando se incrementa la temperatura, al mismo tiempo se incrementa la evaporación y nubosidad, la cual incrementa la presión atmosférica, así como el efecto del calentamiento de la capa inferior de la atmósfera, puede verse disminuido. Cuando disminuye la temperatura, se incrementa la superficie no ocupada por la nieve y hielo, por lo cual también se incrementa la presión atmosférica, así mismo puede incrementarse el efecto general de disminución de la temperatura.

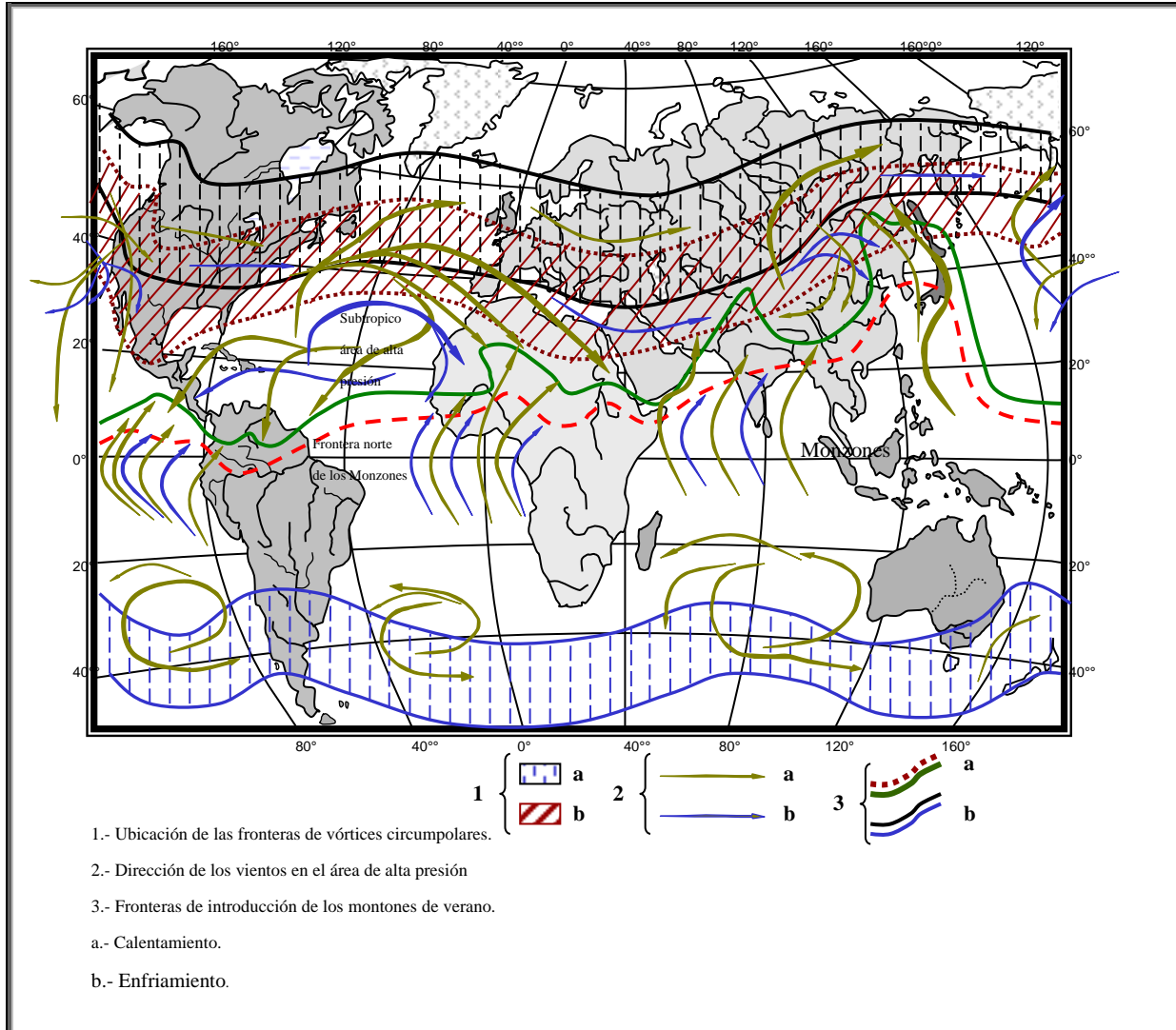
Existen efectos significativos por la penetración de la radiación solar, sobre la superficie terrestre, se tienen también a consecuencia de las partículas en suspensión, producto de las actividades volcánicas, así mismo el clima se ha visto afectado por el régimen de radiación solar, debido a las variaciones de los parámetros orbitales de la tierra ocurridos desde su origen y otro tipo de factores, como las actividades humanas.

Las investigaciones sobre los cambios climáticos, nos demuestran que, a finales del siglo pasado, se observó un calentamiento significativo, la cual alcanzó un máximo en los años treinta y cuarenta, de 1° C, para disminuir a mediados de los años sesentas

Los cambios en las condiciones térmicas, nos arribaron a cambios sustanciales en la circulación atmosférica planetaria. Por investigaciones realizadas por los científicos de la ex Unión Soviética, Europa y Norte América [Girs A.A. 1971], [Vitels L.A. 1977], [Klige R.K., 1985], [Budiko M.I., 1967], Mitchell, 1971], [Lamb, 1970], [Loaiciga H.A et al 1996] y [Oliver, 1976], se detectó que para el período de 1891 a 1899 en la cuenca del Océano Atlántico y el sector Euroasiático, tuvo lugar el desarrollo de procesos de cambio de las corrientes Meridionales y del Occidente, las cuales cambiaron en el período de 1900 a 1928, dominando las corrientes de aire del occidente, durante la época de los años de 1929 a 1939, fue una época de anomalías, por lo que se desarrollaron las circulaciones occidentales, durante el período de 1940 a 1948, lo cual dio inicio a el predominio de la circulación Meridional, después de lo cual a partir de 1949, se activó la circulación oriental. En términos generales en esta zona durante el período estudiado, al final del siglo pasado y hasta nuestra era, disminuyó poco a poco, por la repetición de la circulación del norte, se observó el incremento de la circulación Oriental. El tipo de circulación Meridional alcanzó su máxima expresión en el período de mayor calentamiento.

Debido a lo anterior, sustancialmente cambió la circulación en el Océano Pacífico, del sector del hemisferio norte, donde el período de calentamiento, significativamente incrementó la circulación meridional y disminuyó a su mínima expresión la circulación occidental. La circulación planetaria en su conjunto, por observaciones de Dzerdzeevskiy B.L. en 1968, menciona que puede ser suficientemente descrito por indicadores, que reflejan la relación regional y meridional que llevan las corrientes de chorro en la atmósfera. Por sus cálculos para el siglo que terminó los cambios del curso de las corrientes y las componentes de la circulación regional y meridional, fuera de las latitudes tropicales del hemisferio norte, fue característico el incremento de la circulación en una banda muy ancha a inicios del siglo pasado y hasta finales de los años cincuenta, así como en el intervalo de tiempo en el cual bruscamente, se incrementó la presencia de la influencia de la circulación regional. Como se muestra en la siguiente gráfica.

Fig. No 1 Particularidades de las circulaciones atmosféricas



Fuente: Klige R.K., 1985

Por investigaciones de Drazdov O.A., 1977, el cual estudió las variaciones multianuales de las precipitaciones atmosféricas, llegó a la conclusión, que durante el período de calentamiento, cuando las zonas congeladas de los polos se retiraron, disminuyó la diferencia de temperatura entre los polos y el Ecuador, principalmente en las latitudes templadas, así mismo disminuyó la entrada de humedad de los océanos hacia el centro de los continentes, por tanto los efectos del Monzón se reorganizaron, cambiando su dirección, para favorecer el incremento de las lluvias en los océanos y disminuyendo en el interior de los continentes. Al mismo tiempo en las regiones subpolares y tropicales, debido al desfaseamiento del área de circulación, así como otros factores pueden provocar efectos contrarios.

Durante la época de calentamiento ocurrido en el siglo XX, la zona de circulación de los vórtices, pareciera como si se hubiese comprimido hacia los polos, por lo anterior disminuyó la amplitud de las bandas planetarias en el campo de circulación atmosférica del polo norte, como se muestra en la Figura No. 1, lo cual fue demostrado ampliamente por el científico Aleksander T., 1975. Todo esto ha provocado cambios significativos en las características del estado del tiempo en muchas regiones del planeta, generando inclusive consecuencias catastróficas.

Probablemente con esta situación en gran medida, se relaciona con el hecho que durante la segunda mitad del siglo pasado ocurrió un gran estiaje, el cual abarcó una gigantesca franja desde el territorio de oriente medio a través de la India y sureste de Asia, hasta el sur de China, así mismo una sequía extrema que tuvo lugar en Centro América y Australia, donde sufrieron severos estragos. Una situación totalmente

contraria, ocurrió en la parte central del oeste de Estados Unidos de Norte América, en Filipinas, Italia y en algunos otros países, sufrieron inundaciones catastróficas. Cabe hacer mención que en los últimos treinta años la frontera sur del desierto del Sahara se incrementó en más de 300 Km., apoderándose de amplios territorios.

Debido a todo lo anterior, se requiere resolver los problemas del cambio global climático, la investigación de la estabilidad de sus componentes en el tiempo. La cual está íntimamente ligada al crecimiento natural de los procesos sobre la superficie de nuestro planeta, así como por todas las acciones antropogénicas que tienen lugar sobre los recursos hídricos.

Uno de los eslabones importantes del cambio climático, lo componen las aguas superficiales continentales, principalmente los escurrimientos superficiales, que representan en forma integral el carácter del balance hídrico en la superficie terrestre, por donde este escurre.

En la actualidad más de sesenta mil estaciones hidroclimatológicas realizan observaciones permanentes de los escurrimientos en las cuencas hidrológicas de los continentes, lo cual nos permite, hasta cierto punto, conocer dichos cambios en el tiempo y el espacio.

Los problemas para garantizar el suministro de agua a una población en constante crecimiento, en todo el planeta, así como para las zonas de riego e industriales, representan uno de los problemas más actuales. La tensa situación que se ejerce sobre los recursos hídricos de agua dulce en muchas partes del planeta, así como el hecho de que cada vez crece más la contaminación en las corrientes y cuerpos de agua superficiales y subterráneos, lo anterior requiere buscar nuevas alternativas para el ahorro del agua, el tratamiento de las aguas residuales y el reuso de las aguas tratadas, así como el manejo y aprovechamiento de nuevas fuentes de agua. Por tanto, cada vez resulta actual, la valoración de la disponibilidad de los recursos hídricos, sus usos, su pronóstico y la situación que guardan estos recursos en la actualidad y los escenarios a largo plazo, para proteger las fuentes de abastecimiento de agua.

Dentro de una de las muchas alternativas, para solucionar los problemas del agua, se analiza la redistribución temporal y territorial de los escurrimientos de agua, que las investigaciones de los últimos años, nos demuestran que en la medida en que crezca la magnitud de las transferencias de escurrimientos de agua, su costo resulta muy alto, la influencia sobre el medio ambiente y su pronóstico a mediano y largo plazo, en gran medida es significativo. Adicionalmente resulta muy complejo solventar los problemas sociales, ambientales y legales, que implica la redistribución territorial de grandes volúmenes de agua entre diversas regiones administrativas.

En virtud de lo anterior, en la actualidad en muchos países del orbe, manejan con mucho cuidado estos proyectos, para lo cual se están realizando estudios básicos fundamentales, que nos permitan seleccionar múltiples alternativas, además de la transferencia de escurrimientos, con objeto de cubrir el déficit de agua, la disminución de la brecha hídrica, por medio de la conservación de la calidad del agua, la aplicación de medidas estructurales y no estructurales, es decir maximizar la utilización de la infraestructura existente en cada cuenca hidrológica.

Antes que nada primeramente se deberá mejorar el uso, manejo y operación de los sistemas de agua potable en zonas urbanas y rurales (reparación de fugas, cambio de tuberías, rediseño de los sistemas de distribución, sectorización, entre otras acciones y medidas), aplicación de reingeniería, modernización de los sistemas de riego, pasar del riego tradicional (por gravedad) al riego presurizado y a tiempo real, reutilización de las aguas residuales, aplicación de sistemas ahorradores de agua, una nueva cultura del agua y otras medidas.

Por lo anterior consideramos de suma importancia la descripción de las experiencias que se describen en la presente investigación, por lo que serán de gran utilidad para la realización de líneas de investigación en el campo de las transferencias de escurrimientos de agua, entre cuencas hidrológicas, regiones hidrológicas y meso regiones hidrológicas.

Para poder afrontar el enorme déficit de agua en el planeta, incluyendo México, se presenta el siguiente trabajo, fruto de varios años de investigación y documentación de experiencias y trabajos realizados por múltiples científicos, con la esperanza de lograr un manejo integral sustentable y sostenible en el escenario del desarrollo microeconómico de México.

# **Problemas de la demanda de agua y las transferencias de agua superficial en las cuencas hidrológicas.**

## **1.- Los recursos hídricos a nivel global y su distribución espacial y temporal.**

### **1.1.- Las aguas superficiales y su distribución espacial y temporal a nivel global.**

Como sabemos el total de reservas de agua dulce en la tierra, son de consideración y representan estos 35 millones de Km<sup>3</sup>. Sin embargo, la mayoría de este volumen de agua, se encuentra en zonas de difícil acceso e inconvenientes y alejadas de los asentamientos humanos, así como en formas inadecuadas para el consumo humano. Por lo general el volumen de agua dulce está acumulado en las nieves eternas, en los glaciares y la Antártida (21.6 millones de Km<sup>3</sup>), Groenlandia, Islas del Ártico y en las zonas montañosas de los continentes (2.5 millones de Km<sup>3</sup>), más de 10 millones de Km<sup>3</sup> de agua dulce se encuentran en el subsuelo; cerca de 0.4 millones de Km<sup>3</sup> se encuentran en pantanos y suelos de congelamiento eterno.

Para el ser humano un mayor interés práctico, representa actualmente la dinámica de las aguas dulces en las corrientes superficiales. El volumen unitario de agua en los ríos representa sólo 2 mil Km<sup>3</sup>, es decir un 0.01% del volumen de reserva de agua dulce en la tierra, pero durante el proceso hidrológico este volumen, se renueva cada año unas 23 veces, incrementando con esto la factibilidad de aprovechamiento de los recursos superficiales hasta por 46,800 Km<sup>3</sup>/ año, con lo cual se incrementan estas cualidades únicas, como la regeneración del recurso y por tanto mantener una baja mineralización.

Además de los escurrimientos superficiales, se utilizan en gran medida los recursos de cuerpos de agua superficiales. Estos cuerpos de agua representan 91,000 Km<sup>3</sup>, sin embargo, anualmente se restablece una parte de ella, que representa 1,000 Km<sup>3</sup> al año, los cuales se contabilizan dentro de los recursos de aguas superficiales. La utilización de aguas acumuladas durante décadas puede provocar una ruptura en el equilibrio natural del ciclo hidrológico en la tierra y la aparición de consecuencias ecológicas no deseables.

Las aguas subterráneas de horizontes superiores en las cuencas hidrológicas, están relacionadas fuertemente con las aguas superficiales, por lo cual una utilización intensiva del agua subterránea, como se practica en muchos países del planeta y México no es la excepción, nos conllevan finalmente a un deterioro de las corrientes superficiales.

La principal fuente de recarga de las aguas superficiales en los continentes proviene de la humedad que liberan los océanos, dependiendo de las características de la circulación atmosférica, el contenido de humedad de las masas nubosas y la relación que tienen con las precipitaciones y la evaporación de los escurrimientos superficiales en los continentes, sufren variaciones significativas por su carácter regional y extra regional.

Las variaciones regionales de los escurrimientos en las corrientes superficiales, territorialmente tienen sus orígenes en el balance de la irradiación solar sobre la tierra, extra regionalmente se determina por la variedad del relieve, sus características y condiciones geológicas de los suelos, cobertura vegetal, diferentes combinaciones de los cuerpos de agua continentales, dimensiones y configuración de los continentes así como muchos otros factores, gran número de factores influyen tanto en la circulación atmosférica, así como en los escurrimientos de aguas superficiales.

Numéricamente la lámina de escurrimientos representa en promedio para los continentes 315 mm/año, expresado como el módulo de escurrimiento que es 10 l/s. por cada Km<sup>2</sup>.

Las precipitaciones más altas que se presentan, son del orden de 3,000 a 5,000 mm./año, estas se observan cerca de las montañas continentales e islas de las cordilleras del Pacífico de Alaska, en la zona costera de las cordilleras de Norteamérica, en la cordillera de la Patagonia de América del Sur, a lo largo de la zona costera Escandinava del Atlántico, en zonas Ecuatoriales de África, la parte oeste de Madagascar, en los Archipiélagos de Malasia, en las islas de Filipinas, en la zona costera de Indochina, en los Himalaya, así como al sur de Nueva Guinea y Nueva Zelanda. La lámina media anual de escurrimientos en pequeñas cuencas hidrológicas al oeste de las islas de Nueva Zelanda alcanza los 9,000 mm anuales, donde el módulo de escurrimiento representa 290 l/s. por cada Km<sup>2</sup>, el ingreso de humedad se ve impedido en las zonas montañosas del altiplano de los continentes, por lo general debido

a esta ubicación orográfica disminuyen considerablemente los escurrimientos, como son los casos de Monterrey, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Altiplano mexicano, Altiplano Potosino y en los Valles Centrales de Oaxaca, entre muchos otros.

Las precipitaciones más bajas, es decir menores a 10 y 20 mm al año, se observan en las zonas áridas y semiáridas de Asia media y central y en la Península Arábiga, así como gran parte del centro de Australia, en el Sahara, sureste de los grandes lagos de Estados Unidos, en la Patagonia. Cabe hacer mención que, en las grandes superficies de las cuencas hidrológicas, donde se encuentran los desiertos, se carece de escurrimientos, así como en zonas con alto índice de karsticidad (tales son los casos de la península de baja California y de Yucatán, en las planicies de Australia y muchas zonas costeras del mediterráneo, y otros), en las zonas montañosas donde se encuentran suelos volcánicos muy permeables. Tiene lugar una gran disminución de escurrimientos en las cuencas hidrológicas, en las zonas denominadas de divagación en la desembocadura de los grandes ríos, así como en las mesetas semiáridas.

Los cambios de usos del suelo (tales como la deforestación, actividades agropecuarias, pérdida de suelos y otros) influyen en los procesos hidrológicos regionales, para la formación de los escurrimientos, por lo que surgen tendencias en su disminución, desde las zonas templadas del Ecuador-tropical, hasta la zona de transición del Ecuador-selvático donde se encuentran las zonas: secas de las sábanas, bosques, semidesérticos y desérticos (Tabla No. 1.1, 1.2 y 1.3).

Partiendo de la distribución regional de los escurrimientos de aguas superficiales, podemos considerar que las condiciones climáticas más favorables son: los bosques, las estepas, el subtropical y el trópico, los cuales ocupan un 50% de los continentes, aquí se encuentra el 59% de los escurrimientos. Un 22% de los recursos hídricos se encuentran en zonas de difícil acceso y desfavorables para los asentamientos humanos, como son las zonas cálidas y húmedas de los bosques ecuatoriales; Un 14% se encuentran en la tundra y bosques con tundra. Los recursos de agua dulce superficial que se encuentran en los desiertos (incluyendo el Ártico), con una superficie de 39 millones de Km<sup>2</sup> (representa el 26% del territorio de los continentes), es decir el 1% del total de recursos de las corrientes superficiales en la tierra.

**Tabla No. 1.1 Relación de los recursos hídricos de las corrientes superficiales (Q) con el balance de radiación en el paralelo 10°. Por estudios de Lvovich M.I. 1974, Klige R.K 1985 y Shiklomanov I.A.1987.**

Paralelo	Balace de irradiación R en K Joules [cm <sup>2</sup> al año]	Escurrimiento Q en [mm/año]	Paralelo	Balace de irradiación R en K Joules [cm <sup>2</sup> al año]	Escurrimiento Q en [mm/año]
Norte			Sur		
70-60	84	270	0-10	302	800
60-50	126	350	10-20	306	300
50-40	188	250	20-30	293	80
40-30	251	200	30-40	260	100
30-20	289	280	40-50	172	600
20-10	297	300	50-60	130	1200
10-0	302	750			

Los valores absolutos de los recursos hídricos nos limitan juzgar sobre la suficiencia de agua en cualquier territorio, considerando a sus habitantes, recursos naturales y la posibilidad de su aprovechamiento. Por un lado, el suministro de agua a una determinada región depende de la relación de humedad y temperatura (precipitaciones y evaporabilidad), por otro lado, determinamos el balance hidráulico, es decir cuánto se tiene y con cuánto se puede satisfacer las demandas de agua para uso doméstico, riego e industrial y otros usos.

**Tabla No. 1.2 Relación de los recursos hídricos de aguas superficiales con el calentamiento en diversas zonas naturales continentales. Por estudios de Lvovich M.I. 1974, Klige R.K 1985 y Shiklomanov I.A.1987.**

Región Natural	Área en [ 10 <sup>6</sup> xKm <sup>2</sup> ]	Paralelo en [ ° ]	Escurrimiento superficial		Evaporabilidad en [ mm/año ]
			en [ mm/año ]	en [ Km <sup>3</sup> /año ]	
Tundra y bosque con tundra	26.4	75-55	250	6,600	300
Taiga	8.5	70-45	300	2,550	550
Bosque combinado en los paralelos intermedios	9.17	60-85	350	3,210	800
Bosques con sabana y bosque mezclado con estepas	24.1	55-0	250	6,025	1,500
Estepas y sabanas secas	16.5	55-0	60	990	1,400
Zonas áridas y semiáridas	25.0	50-15	5-10	180	1,600
Selva siempre verde y húmeda en el subtrópico Ecuatorial	8.44	40-10	650-1200	9,500	1,800
Selva con humedad de temporada en el subtrópico Ecuatorial	9.0	40-0	350-750	5,400	1,400
Selva siempre verde de la zona Ecuatorial	7.9	15-0	1300	10,200	1,400

Los indicadores climáticos de suministro de agua (humedad), pueden servir como el grado de incrementó de los recursos hídricos “escurrimientos” de un río representado como (Q), déficit de humedad (Dh), es igual a la diferencia entre la evaporación máxima probable (Eo) y la evaporación efectiva (E).

$$D_h = E_o - E$$

La expresión (Q-Dh), representa la diferencia entre la precipitación y la evaporación máxima probable (P-Eo). Los valores muy por arriba de cero como resultado de la expresión (P-Eo) o (Q-Dh), nos indica que tenemos un exceso de humedad, que pueden provocar encharcamientos e inundaciones, así como mejorar las zonas de riego a través de sistemas de drenaje, valores negativos altos entre (P-Eo) representan una insuficiencia de humedad para los cultivos, lo cual nos indica que debemos mejorar el riego, así como los suelos. Los valores negativos entre (Q -Dh) nos muestran que no podemos reponer el déficit de humedad con los escurrimientos locales aun teniendo una máxima regulación de estos.

*Las condiciones óptimas para tener una humedad natural de un territorio, se observa cuando tenemos la siguiente condición (P-Eo)=0 o bien una pequeña pérdida de 200 mm./año de precipitación debido a la evaporación en las zonas no tropicales y de 400 mm./año para zonas tropicales, en promedio para todas las zonas continentales del planeta la diferencia permisible entre (P-Eo) corresponde a 124 mm./año, de déficit, como se muestra en el Tabla No. 1.1, varía en diversas zonas del planeta de 2,500 mm./año de déficit para el desierto del Sahara, de hasta 2,000-3,000 mm./año (en las zonas costeras montañosas, islas en los océanos, zonas ecuatoriales continentales).*

*Las zonas de déficit de humedad (en condiciones normales), es decir la falta de humedad, la tenemos en un 20% del territorio europeo, 50% en Asia, casi en toda Australia, gran parte de África y suroeste de América del Norte (30%) y cerca de un 20% en América del Sur. Las condiciones óptimas en cuanto a humedad se observan, en no más de un 10% de las zonas continentales.*

*Partiendo de la posición de la posibilidad de una redistribución de los escurrimientos en zonas con exceso de humedad (a las cuales podemos considerar como donadoras), para apoyar las zonas áridas y semiáridas (a las cuales podemos considerar como receptoras), en todas las zonas donde se forman los escurrimientos de los ríos más caudalosos de las cuencas hidrológicas del territorio nacional, resto del*



planeta y también donde se concentran casi todos los lagos de agua dulce más grandes de los continentes.

Como se sabe el gran río Amazonas drena agua de las zonas húmedas del ecuador en América del sur, descarga al Océano Atlántico un volumen de 6,923 Km<sup>3</sup>/año, en la Fig. 1.1, se pueden apreciar los escurrimientos en los ríos más caudalosos del mundo, los cuales se encuentran en la franja ecuatorial y tropical (Amazonas, Congo, Ganges, Yang Tse Kiang, Orinoco y Paraná), que en su conjunto el escurrimiento medio anual es de 12,000 Km<sup>3</sup>, lo cual representa cerca del 25% del escurrimiento total de los ríos en el planeta. El volumen anual de escurrimiento en 36 ríos, es mayor a los 100 Km<sup>3</sup>, los cuales se forman en zonas con exceso de humedad, lo que representa un 40% del total de agua en las cuencas hidrológicas.

*Los escurrimientos en muchas corrientes superficiales, actualmente se usan en forma muy intensiva, incluyendo aquellas donde se están efectuando transferencias de agua de una cuenca hidrológica a otra, (tales son los casos de los ríos, Mississippi, Danubio, Rin, Volga, Obi, Indo y Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste en México "SHINO", y Cutzamala, entre muchos otros). Cabe mencionar que existen una gran cantidad de proyectos de transferencia de agua entre cuencas hidrológicas, donde se pretende efectuar una redistribución de los escurrimientos para aprovechar las aguas de estos ríos, y cubrir el déficit de agua que se tiene en diversas partes del mundo, claro está que lo anterior no significa que al llevar agua de zonas con abundancia hacia zonas áridas y semiáridas o con problemas por sequías prolongadas, se resolverá el problema de insuficiencia de humedad y por tanto un cambio del clima en esas zonas y convertir en vergeles, tierras altamente productivas.*

Un simple cálculo nos muestra que, para poder eliminar el déficit de humedad en la región del Sahara, en un área de aproximadamente de 7 millones de Km<sup>2</sup>, se requieren 2,000 mm de lámina de lluvia al año, es decir 14,000 Km<sup>3</sup>/año, de agua o bien diez ríos como el Congo (Zaire), lo cual prácticamente nunca podrá realizarse.

El problema del déficit de agua dulce en el planeta principalmente ocurre por situaciones climáticas, sobre explotación de las aguas subterráneas y superficiales, debido al crecimiento excesivo de centros de población, zonas de riego e industrias en zonas con falta del suministro de los recursos hídricos, como ocurre en muchas regiones de nuestro país, debido a una intensiva deforestación, tal situación se presenta en Sonora, Chihuahua, Oaxaca (Mixteca y Valles Centrales, Río Verde, Río Tehuantepec, Río Los Perros, entre otros), Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Campeche, Querétaro, Jalisco, Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey, Querétaro, Durango y Aguascalientes entre muchos otros.

Actualmente de los recursos renovables de agua dulce existentes en el planeta, en promedio por cada habitante le corresponde 27.1 m<sup>3</sup>/día, en las poblaciones más habitadas de Europa, le corresponden 13.1 m<sup>3</sup>/día (ver Tabla No. 1.3).

En el año 2000 por información de la ONU, la cantidad de habitantes creció a 6,100 millones de personas, para noviembre de 2010 la población mundial alcanzo 6,892 millones de habitantes, ya en octubre de 2011, se alcanzaron los 7,000 millones de habitantes, es decir con una tasa de crecimiento anual de 7.92 %. La suma total de la demanda de agua, para principios del nuevo milenio, se incrementó en 5,200 Km<sup>3</sup>/año, la anterior demanda, por el momento no sobrepasa el 11% del total de recursos hídricos disponibles en las cuencas hidrológicas del planeta, donde le corresponden en promedio por cada habitante cerca de 18 m<sup>3</sup>/día quedando como antes muy alta.

Para comparar lo anterior diremos que la demanda de agua por habitante, incluyendo el riego, la industria y la hidroenergía en promedio en los continentes varía de 0.9 m<sup>3</sup>/día en África, a 4.8 m<sup>3</sup>/día en Norte América.

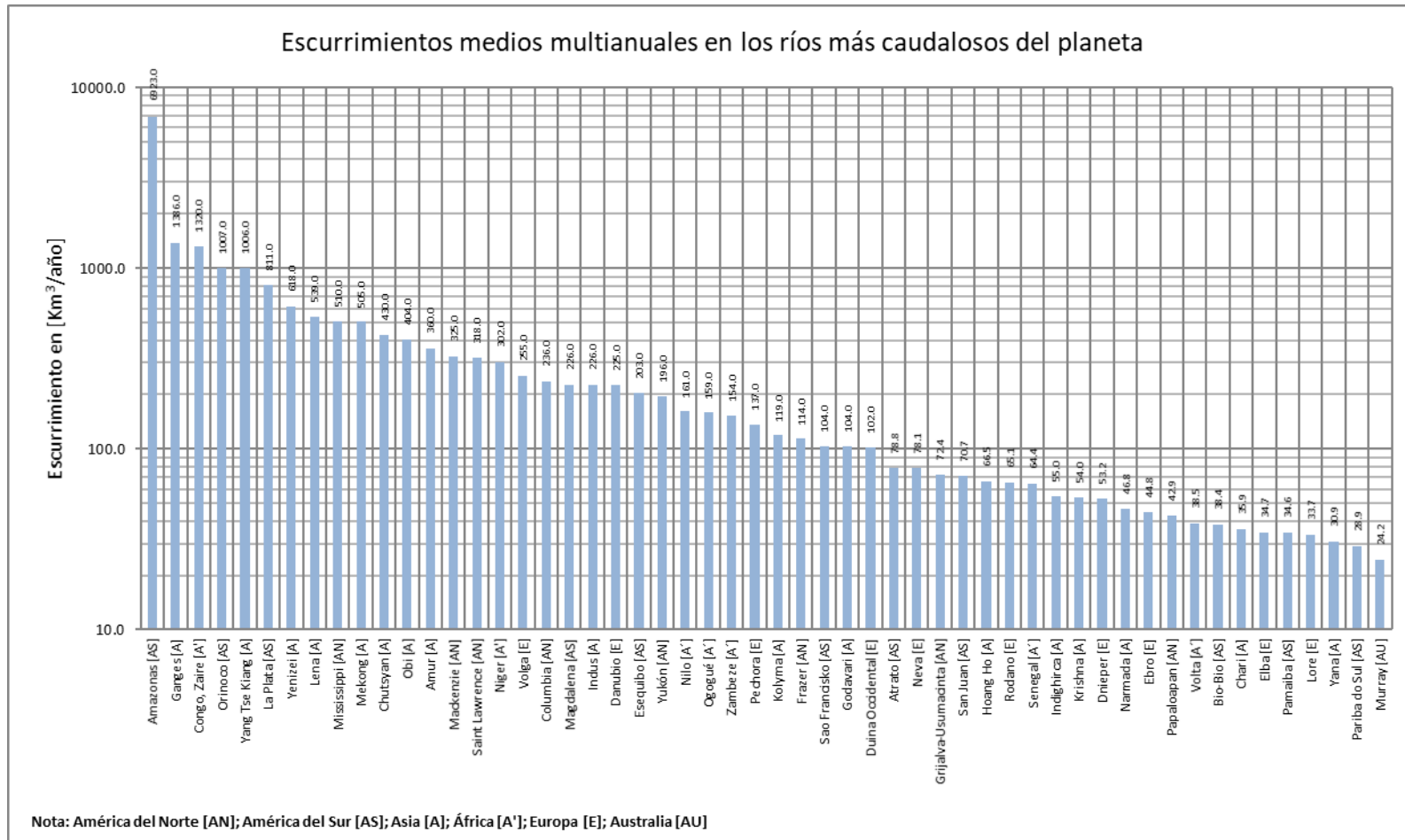


Fig. No 1.1 Escurreimientos medios multianuales en los ríos más caudalosos del planeta

**Tabla No.1.3 Renovación de los recursos hídricos (escurrimientos) y reservas de agua en diversos continentes. Por estudios de Lvovich M.I. 1974, Klige R.K 1985 y Shiklomanov I.A.1987 y 2000.**

Territorio	Área [ 10 <sup>6</sup> Km <sup>2</sup> ]	Población 10 <sup>6</sup> hab.	Escurrimiento			Humedad relativa (h-E) en [mm.]
			Total [ 10 <sup>3</sup> xKm <sup>3</sup> /año ]	Específico [ l/s x Km <sup>2</sup> ]	Por hab. [ m <sup>3</sup> /día ]	
Otros	10.5	724.72	3.2	9.7	11.87	110
Asia	43.5	4140.33	14.4	10.5	9.53	-310
África	30.1	994.53	4.6	4.8	12.67	-1050
América del Norte y Centro América	24.2	528.72	8.2	10.7	42.49	0
América del Sur	17.8	385.74	11.8	21	83.81	300
Australia	7.7	22.61	0.4	1.4	48.47	-1410
Oceanía	1.8	13.49	2	51.1	406.19	1350
Antártica	14.0	0.44	2.3	5.1		180
TOTAL	150	6810.58	46.9	14.29	18.79	124

Nota: Cálculos propios de acuerdo con el Censo de población del año 2010 FAO.

Considerando un manejo y aprovechamiento racional, que corresponda con los recursos hídricos superficiales, tomando en consideración todas las medidas posibles de conservación, con lo cual se podría abastecer de agua a una población de 60 a 100 mil millones de habitantes cubriendo al mismo tiempo la demanda de la industria y el campo.

En la actualidad para cada habitante, en este planeta se requieren 1.3 m<sup>3</sup>/día, que al mismo tiempo son en promedio 2,0 m<sup>3</sup>/día. Por otro lado queda claro, que efectuar una redistribución territorial de los escurrimientos mejoraría las demandas de agua, no obstante no es posible realizar todas las obras por problemas técnicos, económicos, ambientales y sociales, debido a la división territorial de las naciones y los estados en el caso de la República Mexicana (Ver Tabla No 1.4 ), por lo que no hay que partir de un valor medio de escurrimiento como se hace normalmente en México, debido a que el comportamiento de los escurrimientos tienen una variabilidad cada año, por lo anterior se debe analizar los déficit de agua al final de cada período de lluvias y efectuar las reprogramaciones de asignación de agua para los grandes consumidores. A continuación, se presentan los resultados efectuados en el Río Atoyac ubicado en el estado de Oaxaca, donde se analizó el comportamiento hidrológico de las aguas superficiales con objeto de sustentar el aprovechamiento de sus aguas para el suministro de agua a la ciudad de Oaxaca y 12 municipios conurbados donde se desarrolló el proyecto denominado Paso Ancho. (Ver Olvera S. año 2009).

**Tabla No.1.4 Distribución de la cantidad de agua por [hab/día] en la República Mexicana conforme a el potencial de escurrimientos**

Región Administrativa	Área [ 10 <sup>6</sup> Km <sup>2</sup> ]	Población 10 <sup>6</sup> hab.	Escurrecimiento		
			Total [10 <sup>3</sup> xKm <sup>3</sup> /año]	Específico [l/s x Km <sup>2</sup> ]	Por hab. [ m <sup>3</sup> /día ]
Península de Baja California	0.154279	4.6	0.005021	0.963	4.43
Noroeste	0.196326	2.92	0.008231	1.267	3.7
Pacífico Norte	0.152007	4.59	0.025917	5.16	23.68
Balsas	0.116439	12.04	0.021991	7.68	92.47
Pacífico Sur	0.082775	5.12	0.032683	13.63	69.79
Río Bravo	0.39044	12.61	0.013022	1.145	14.44
Cuencas Centrales del Norte	0.187621	4.65	0.008163	1.0701	4.98
Lerma-Santiago Pacífico	0.192722	24.72	0.034348	6.603	163.23
Golfo Norte	0.127064	5.38	0.026604	5.8157	31.29
Golfo Centro	0.102354	10.73	0.094089	31.063	333.31
Frontera Sur	0.099094	7.84	0.159404	49.177	385.55
Península de Yucatán	0.139897	4.77	0.029596	6.986	33.32
Valle de México	0.01823	23.55	0.003515	0.0734	1.73
<b>TOTAL</b>	<b>1.959248</b>	<b>123.52</b>	<b>0.462584</b>	<b>130.6332</b>	<b>1,161.90</b>

Fuente: Elaborado con base en CONAPO (2012), INEGI (2016), Conagua (2017b).

## Método para Determinar la Distribución Interno Anual de los Escurrecimientos

### Cálculo de la distribución de escurrimientos cuando se cuenta con información hidrométrica.

Generalmente para representar la distribución de los escurrimientos, tomamos la distribución real de estos:

a).- Años de abundancia, b).- Años medios, c).- Años secos y d).- Años muy secos.

La distribución de los escurrimientos por meses durante el año generalmente se expresa en porcentaje de la suma de los gastos medios anuales, para el año en que se quiere determinar la distribución de los escurrimientos.

Los años representativos se seleccionan de la información disponible de la corriente superficial en estudio.

Como se muestra de una distribución para un año promedio, se selecciona aquel año cuyo volumen de escurrimiento es cercano a la media y la forma de su hidrógrama que se asemeje al año promedio.

Esta homologación se obtiene a través de comparar gastos medios anuales de cada año tomando como modelo de distribución el gasto medio mensual.

Los modelos de distribución interno anual de los escurrimientos anuales máximos y mínimos, toman la distribución del escurrimiento en años ya ocurridos, el valor del escurrimiento anual que pueda acercarse más a los escurrimientos anuales mínimos y máximos para un determinado período de retorno.

Para el cálculo de la distribución del escurrimiento mensual, se toma en algunos casos el valor medio de la distribución en un periodo multianual.

En algunos casos la distribución de los escurrimientos durante el año se caracteriza por tener un tipo de hidrógramas, cuya elaboración se basa en la genética y homogeneidad de los escurrimientos en sus diversas fases, por ejemplo: temporada de lluvias (temporada de depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes), primavera-verano, otoño-invierno, nortes, deshielo y otros eventos meteorológicos.

Durante la elaboración del hidrógrama tipo de los escurrimientos medios mensuales o decenales, por lo general su configuración adquiere una forma escalonada.

Cabe mencionar que debido a lo anterior se tiene algunas imprecisiones, estas se refieren a que la distribución de los escurrimientos en base a los registros históricos de un año determinado, contiene características individuales únicamente de ese año seleccionado, y la distribución media para todo el año adquiere una forma suavizada(hipotética). Por lo tanto, lo más apropiado resulta, el elaborar una (composición) distribución interno anual, tal que los escurrimientos durante la planeación respondan a las necesidades de las actividades hidroeconómicas (aprovechamiento de la infraestructura hidráulica en las actividades económicas) donde, se garantice las demandas de agua. Por lo tanto, el volumen de agua que garantiza estas obras, dependerá del tipo de infraestructura y usos de agua, considerando también cierta tolerancia a una posible interrupción del suministro de agua.

Bajo este esquema el año se subdivide sólo en tres períodos: primavera, verano-otoño e invierno. La probabilidad para dos temporadas (período crítico) dependiendo de las tareas de planeación, se selecciona para el año su probabilidad, el escurrimiento para la tercera época, se determina como la diferencia del escurrimiento anual y la suma de escurrimientos de las dos estaciones.

Entre otras cualidades de este esquema de cálculo, parte fundamental, representa el aspecto de las necesidades de diseño, como sabemos la planeación en ocasiones conlleva a algunas imprecisiones. La principal imprecisión consiste en que la probabilidad anual, se da para dos periodos simultáneos de tres. Lo anterior nos arriba a que el escurrimiento que delimita un período, calculado como la diferencia de los escurrimientos de un año y el escurrimiento total de los dos períodos adquieren una misma probabilidad, es más aleatorio que el caso cuando determinamos la diferencia entre el escurrimiento anual y el escurrimiento de una estación del año.

Considerando lo anterior el científico Adrianov V.G., elaboró el método de cálculo de distribución interno anual, el cual es válido para todas las condiciones físico geográficas y para cualquier tipo de planeación. El modelo de cálculo de distribución anual se compone según Adrianov, menciona que no debemos partir de las condiciones de probabilidad del escurrimiento medio anual, si no que debemos delimitar cada estación del año. Los resultados de distribución que se obtiene bajo este esquema de cálculo, como lo demostró la práctica son más apegados a la realidad. Los principios fundamentales de este procedimiento, son los siguientes.

El gasto que garantiza el suministro de agua (regulado) para un determinado almacenamiento (ver figura No. 1.1<sup>a</sup>), se puede representar de la siguiente manera:

$$\alpha = k_{\text{crítico}} + \frac{\beta}{T_{\text{crítico}}} = \frac{1}{T_{\text{crítico}}} (W_{\text{crítico}} + \beta)$$

Dónde:  $\alpha$ .- es la demanda de agua garantizada, representada en porcentaje del escurrimiento medio multianual;  $W_{\text{crítico}}$  y  $k_{\text{crítico}}$ .- Es el volumen de escurrimiento y el gasto medio del periodo crítico en porcentaje del gato medio multianual respectivamente;  $\beta$ .- Es el volumen de regulación en porcentaje del volumen de escurrimiento medio anual;  $T_{\text{crítico}}$ .- Representa la duración del periodo en porcentaje del año. Crítico

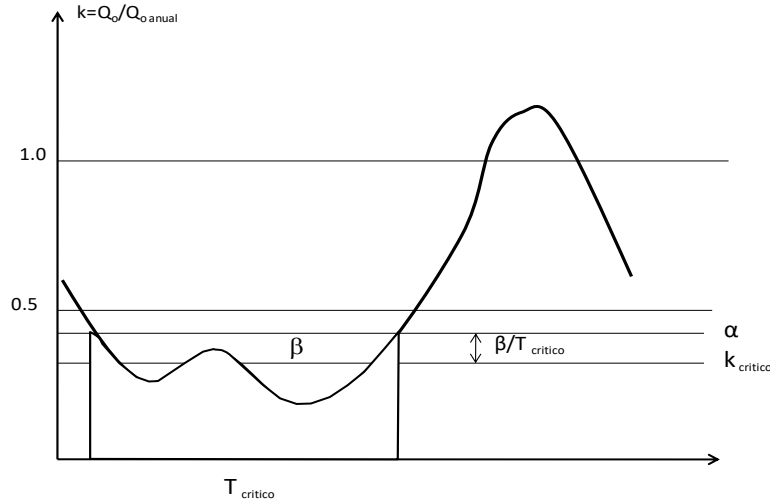


Figura No. 1.1ª.- Representación del método de distribución interno anual de los escurrimientos, de igual probabilidad de ocurrencia en periodos críticos durante el año.

Fuente: Método del científico Andrianov V.G. 1957.

El parámetro  $T_{\text{crítico}}$  depende del volumen de regulación para cada temporada y para un mes determinado cuando  $\beta$  es cercano a cero (es decir cuando no se tiene una regulación de los escurrimientos), se extiende hasta la prolongación de todo el período de estiaje, para un determinado valor de  $\beta$ , que garantice una regulación anual total. Para un valor dado de  $\beta$ , el valor del  $T_{\text{crítico}}$  muy poco fluctúa de un año a otro. Por lo anterior para un valor determinado de  $\beta$ , el valor del tiempo crítico, es posible tomarlo como constante, garantizando un alto grado de confiabilidad, es decir, la probabilidad de ocurrencia de tomar una probabilidad igual al escurrimiento durante períodos críticos y bajo cualquier grado de regulación estacional, hasta alcanzar una regulación anual total, lo que resulta de:

$$p(\alpha) \cong p(W_{\text{crítico}})$$

$$\text{Dónde: } k_{\text{crítico}} = \frac{C_{v_{\text{estación}}}}{C_{v_{\text{anual}}}} ; k_{\text{crítico}} = \frac{C_{s_{\text{estación}}}}{C_{s_{\text{anual}}}}$$

$$\sum Q_{\text{mensual}_{\text{estación}}} = \sum Q_{\text{mensual}_{\text{anual}}} \eta$$

$\eta$  = distribución media relativa de los escurrimientos por estaciones del año (dado en porcentaje con respecto al valor anual)

De lo anterior podemos deducir que para obtener y garantizar el volumen de agua requerido, durante un periodo de retorno determinado teniendo cualquier grado de regulación estacional de los escurrimientos, es recomendable seleccionar una distribución interno anual tal de los escurrimientos, que nos permita una probabilidad de ocurrencia de sus escurrimientos anuales, dentro de los periodos limitantes entre una estación del año, con otra, así como poder conocer las estaciones limitantes anuales debiendo ajustarse a una determinado periodo de ocurrencia.

*Para determinar la distribución interno anual con fines de planeación y aprovechamiento de los escurrimientos, así como para la determinación de los escurrimientos superficiales disponibles en una corriente determinada en cualquier estación del año, se puede lograr empleando el método, cuando se cuenta con información hidrométrica de alguna corriente superficial de una cuenca hidrológica determinada, es lo más recomendable, proceder de la siguiente manera:*

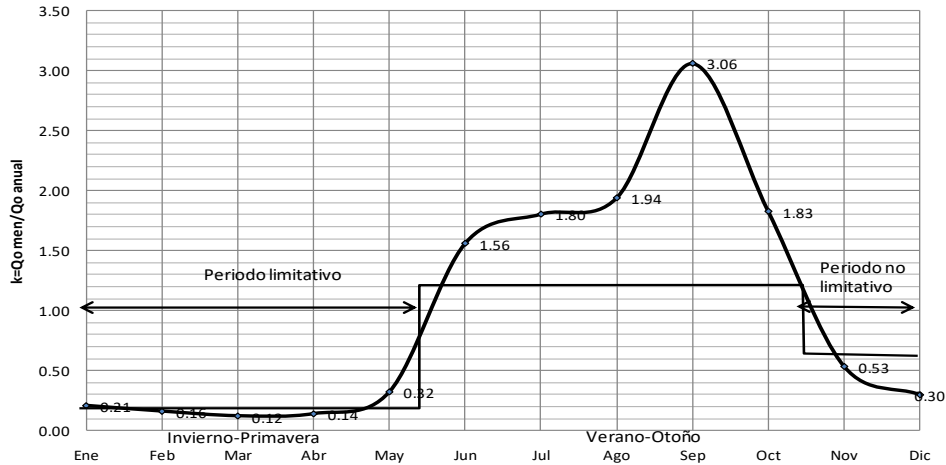
El año se subdivide en tres periodos (ya que los escurrimientos se presentan durante la estación de verano-otoño, como es el caso del área de estudio del río Atoyac, estación hidrométrica Paso Ancho, el periodo limitativo es “invierno-primavera”), en este periodo se tienen dos estaciones de estiaje (por ejemplo, estación de primavera e invierno), se obtuvo que en un solo periodo limitativo (período durante el cual puede limitarse el uso de los escurrimientos). Internamente en este periodo una de las estaciones del año (primavera), lo tomamos como la limitante de esa estación. El esquema de dividir el año en periodos se muestra en la Figura No. 1.1<sup>b</sup>.

El escurrimiento anual, así como el período limitativo dentro de este mismo, su estación limitante, se toma con la misma probabilidad de ocurrencia, que es igual a la dada en condiciones de planeación para periodos de retorno tal que nos garantice el suministro de agua 95%. Además, el escurrimiento que no cae en la estación limitativa (época de avenidas), se determina de la diferencia del escurrimiento anual y el periodo de estiaje, el escurrimiento que no limita a la estación del año, se calcula también tomando la diferencia de los valores de escurrimientos de los dos periodos.

De tal manera que la distribución del escurrimiento para un determinado periodo de ocurrencia, lo determinamos por separado: primeramente, por estaciones del año, posteriormente en forma interna para cada estación del año (por mes o en su caso decenal).

El cálculo de la distribución interna de los escurrimientos (en porcentaje del escurrimiento anual, expresado en metros cúbicos por segundo), el cual se ejecuta a través de multiplicar los valores de la distribución de los escurrimientos, por la estación del año y su distribución interna obtenida para cada estación.

Figura No. 1.1<sup>b</sup> Esquema de la Subdivisión del hidrógrama por estaciones del año, E.H. Paso Ancho



Fuente: Elaboración propia

Para la distribución interna de los escurrimientos por un mes o decenal, seleccionamos el valor promedio para cada grupo de estaciones del año que se analicen, asignándole la probabilidad y ocurrencia que le corresponda a los escurrimientos.

La distribución interna de los escurrimientos por mes, para cualquier estación del año, se determina de la siguiente manera. Los valores de los escurrimientos mensuales de cada estación del año se ordenan de mayor a menor. La serie que se obtiene la subdividimos en tres grupos: años muy húmedos (les corresponde una probabilidad de 1% a 33%), años húmedos (les corresponde una probabilidad de 34% a 66%) y años secos (les corresponde una probabilidad de 67% a 100%).

En los límites entre grupo y grupo, realizamos un promedio de los escurrimientos mensuales, de igual manera seleccionamos la serie de mayor observación. Cada valor promedio obtenido se asigna al mes que le corresponda por calendario, y que con mayor frecuencia se presenta. A continuación, para cada grupo calculamos la distribución correspondiente a los escurrimientos mensuales dados en porcentaje con respecto al valor del escurrimiento de cada estación del año. El cual es calculado utilizando la curva de probabilidad de ocurrencia o bien por la diferencia de valores entre los escurrimientos de las estaciones del año, distribuidos por meses respecto al porcentaje de probabilidad obtenido respectivamente.

La distribución interno anual de los escurrimientos, se determinan cuando contamos con información hidrométrica de la corriente superficial que nos interesa estudiar, debiendo contar con unos periodos de registro histórico de por lo menos de 10 a 12 años, debiendo incluir tanto periodos de estiaje como avenidas extraordinarias y escurrimientos medios. El cálculo de la distribución interno anual de los escurrimientos, la afectamos tomando como base los registros históricos (hay que tomar en cuenta el iniciar desde los años con escurrimientos extraordinarios), la duración de una estación del año., se selecciona igual para todos los años del registro histórico, sin fraccionar los meses redondeando hasta completar un mes.

Los criterios limitativos de la estación del año, así como de los meses, dependerá del tipo de régimen interno anual del escurrimiento. Para las cuencas hidrológicas que se alimentan durante la estación de verano, seleccionamos verano, otoño-invierno y primavera.

Para las cuencas hidrológicas cuyo régimen de alimentación es producto de grandes avenidas durante el verano, y donde predomina la demanda para el riego, el periodo limitativo, se selecciona el de otoño-invierno y primavera, el periodo como vemos que nos limita con menores



escurrimientos fuertes, que se producen durante verano-otoño, por consiguiente tenemos como periodo limitativo invierno-primavera, quedando la división invierno, primavera y verano-otoño, como es el caso de los ríos de México.

Derivado de la aplicación de esta metodología, los resultados de la aplicación del modelo de distribución interno anual, para la subcuenca del río Atoyac, se describe a continuación.

Los resultados del proceso de análisis y cálculos realizados con la metodología de la distribución interno anual, servirán para el proceso de planeación de los usos del agua en la subcuenca del alto Atoyac, medio Atoyac, Río Salado y bajo Atoyac, tal como se puede apreciar en las Tablas No 1.4<sup>a</sup>, 1.4<sup>b</sup>; , donde se presentan los resultados del cálculo de estaciones del año en gasto, en porcentaje y por mes en cada estación del año, para periodos medios, medios máximos, mínimos y mínimos minimorum, así como su representación del 25%, 75% y 97% de probabilidad de ocurrencia mensual, en las Figuras No. 1.1<sup>c</sup>, así mismo se presentan las curvas de probabilidad de ocurrencia estimadas por medio de la distribución Gamma – Tri Paramétrica, para el caso de gastos medios anuales, por temporada del año, para cada una de las estaciones hidrométricas del río Atoyac, Figuras No.1.1<sup>c</sup>-1.1<sup>l</sup>. Con la regulación de la Presa Paso Ancho se cubrirán el déficit del periodo limitativo invierno-primavera.

Tablas No. 1.4<sup>a</sup> Resultados por temporada del año (periodo limitativo: invierno; primavera; invierno-primavera y periodo no limitativo verano-otoño), dados en gasto, porcentaje por temporada y mensual, estación hidrométrica Paso Ancho.

RESULTADOS DISTRIBUCIÓN INTERNO ANUAL																
RIO ATOYAC, ESTACIÓN PASO ANCHO, OAX., A= 5971 Km <sup>2</sup>																
Estación ó periodo	Cv	Cs	Gasto medio		Gasto max			Gasto med			Gasto min			Gasto min. minimorum		
			m3/seg.	%	m3/seg.	P%	%	m3/seg.	P%	%	m3/seg.	P%	%	m3/seg.	P%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Anual	0.543	2.171	188.27	100	241.24	25	100	166.20	50	100	116.81	75	100	74.39	95	100
Per Limitativo Inv(I-III)	0.490	1.960	7.69	4.085	10.23	25	4.24	6.63	50	3.99	4.90	75	4.20	2.69	95	3.62
Primavera(IV-VI)	0.825	3.300	31.80	16.889	36.43	25	15.10	23.55	50	14.17	18.09	75	15.49	9.40	95	12.64
Periodo Invo-Prim	0.679	2.717	39.49	20.9745	44.39	25	18.40	31.43	50	18.91	24.11	75	20.64	15.09	95	20.282
Periodo no Lim (V-O)	0.604	2.417	148.84	79.056	194.77	25	80.74	115.46	50	69.47	82.16	75	70.34	46.61	95	62.657

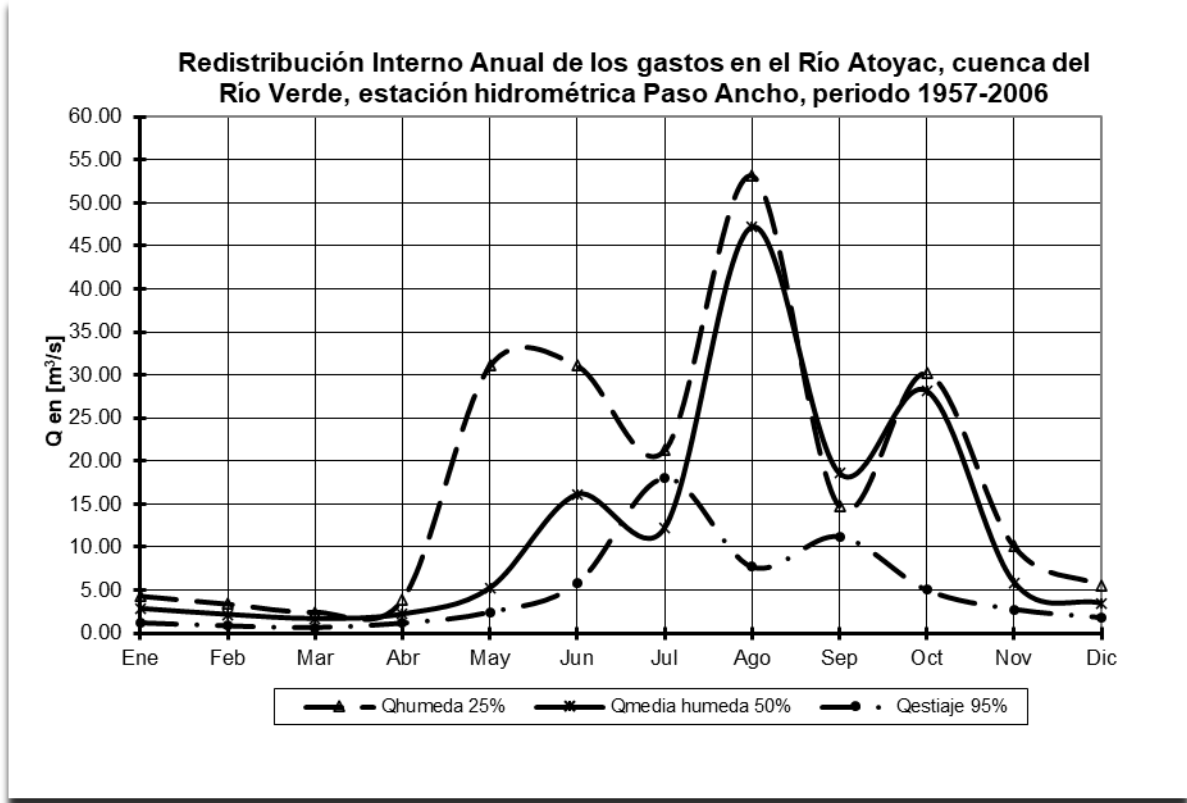
ESTACIÓN	ESCURRIMIENTO EN PORCENTAJE POR ESTACIÓN DEL AÑO											
	INVIERNO			PRIMAVERA			VERANO-OTOÑO					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
HUMEDA	42.39	33.43	24.18	3.84	10.84	85.32	10.92	27.30	7.58	15.51	5.18	2.86
MEDIO HUMEDA	42.68	32.27	25.05	9.31	22.22	68.47	10.58	40.92	16.08	24.37	5.08	2.97
ESTIAJE	44.16	31.55	24.29	12.36	25.91	61.73	38.72	16.54	24.13	10.77	5.95	3.90

ESTACIÓN	ESCURRIMIENTO MENSUAL EN PORCENTAJE DEL AÑO												Escrupimiento por estación del año en %		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	P	V-O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Humeda	1.80	1.42	1.03	0.58	1.64	12.88	8.81	22.04	6.12	12.52	4.19	2.31	4.24	15.10	55.99
Q <sup>25%</sup> m <sup>3</sup> /seg.	4.34	3.42	2.5	1.40	3.95	31.08	21.26	53.17	14.76	30.21	10.10	5.57	8.78	36.43	135.07
Medio Humeda	1.70	1.29	1.00	1.32	3.15	9.70	7.35	28.43	11.17	16.93	3.53	2.07	3.99	14.17	69.47
Q <sup>50%</sup> m <sup>3</sup> /seg.	2.83	2.14	1.7	2.19	5.23	16.12	12.22	47.24	18.57	28.14	5.9	3.4	6.63	23.55	115.46
Estiaje Severo	1.60	1.14	0.88	1.56	3.27	7.80	24.26	10.36	15.12	6.75	3.73	2.44	3.62	12.64	62.66
Q <sup>95%</sup> m <sup>3</sup> /seg.	1.19	0.85	0.7	1.16	2.44	5.80	18.05	7.7	11.25	5.02	2.77	1.82	2.69	9.40	46.61

Tabla No. 1.4<sup>b</sup> Gastos que garantizan las actividades hidroenergéticas y de abastecimiento de agua en la E.H. Paso Ancho.

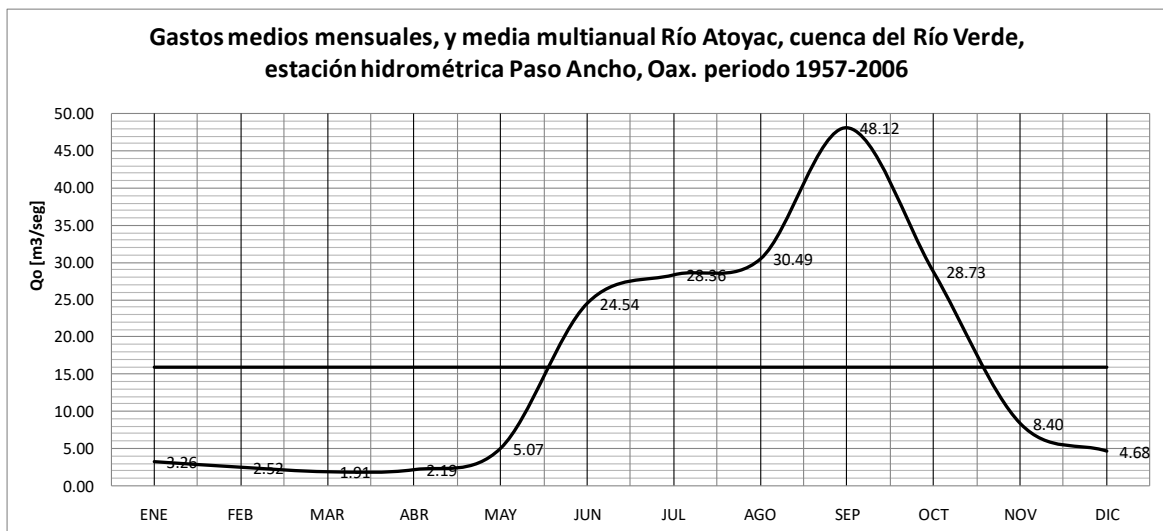
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
% mensual	1.85	1.32	1.02	1.91	4.01	9.56	27.24	11.63	16.97	7.57	4.18	2.74
Q <sup>1/5%</sup>	2.17	1.55	1.2	2.24	4.69	11.17	31.81	13.6	19.83	8.85	4.88	3.21
% mensual	1.60	1.14	0.88	1.56	3.27	7.80	24.26	10.36	15.12	6.75	3.73	2.44
Q <sup>95%</sup>	1.19	0.85	0.7	1.16	2.44	5.80	18.05	7.7	11.25	5.02	2.77	1.82

Fuente: Elaboración propia



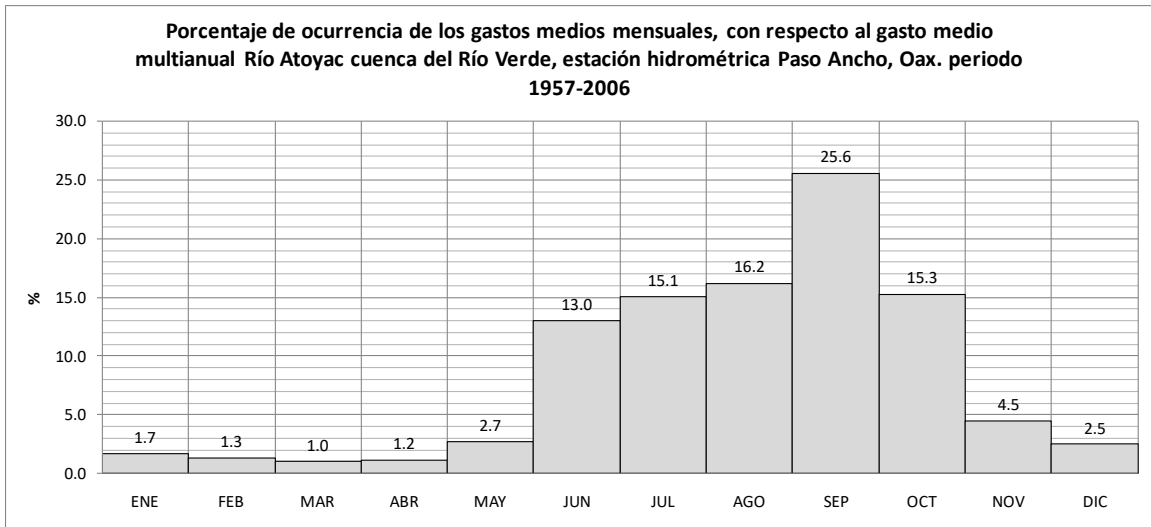
Fuente: Elaboración propia

Figura No.1.1<sup>c</sup> Hidrógramas de redistribución interno anual de los gastos para 95%, 50% y 25% de probabilidad de ocurrencia, en el río Atoyac, E.H. Paso Ancho.



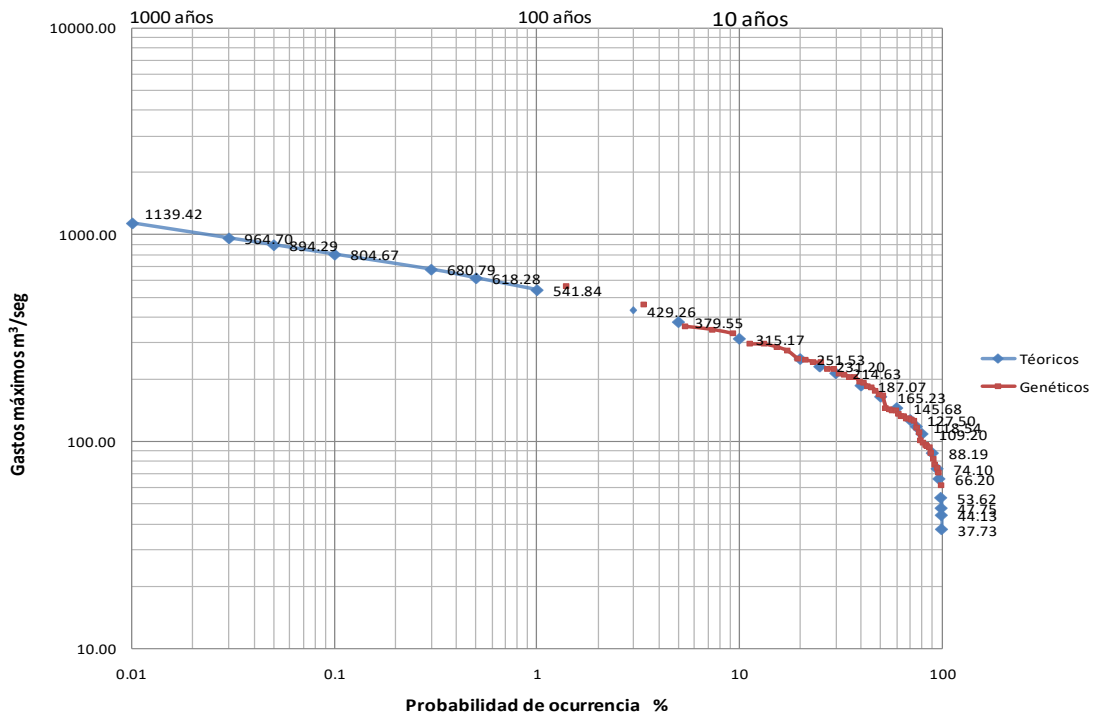
Fuente: Elaboración propia

Figura No. 1.1<sup>d</sup> Gastos medios mensuales y medio multianual E.H. Paso Ancho.



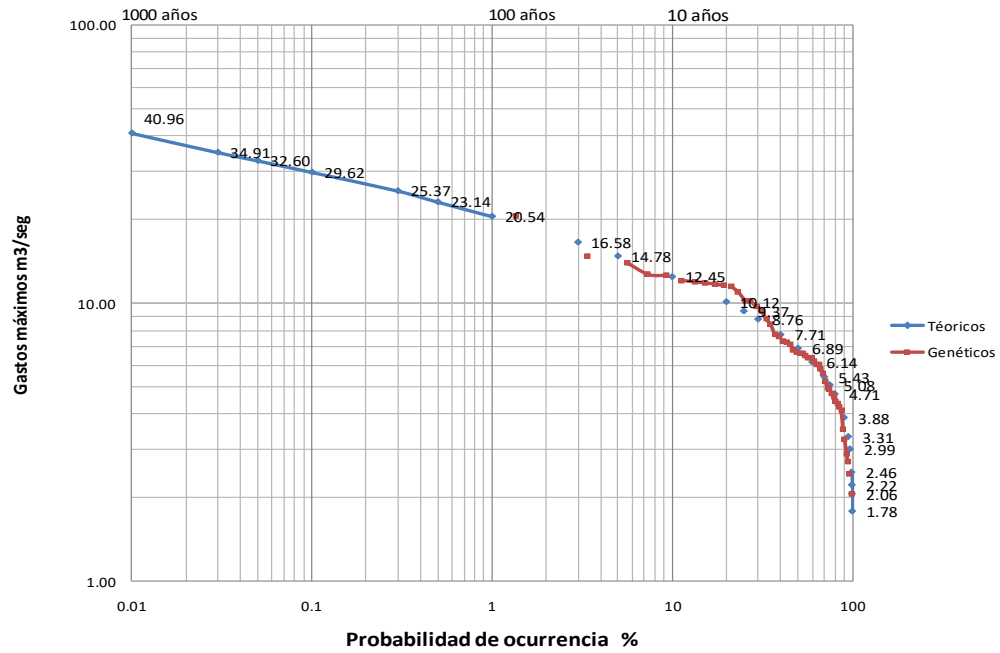
Fuente: Elaboración propia

Figura No. 1.1<sup>f</sup> Porcentaje de los gastos medios mensuales con respecto al multianual E.H. Paso Ancho



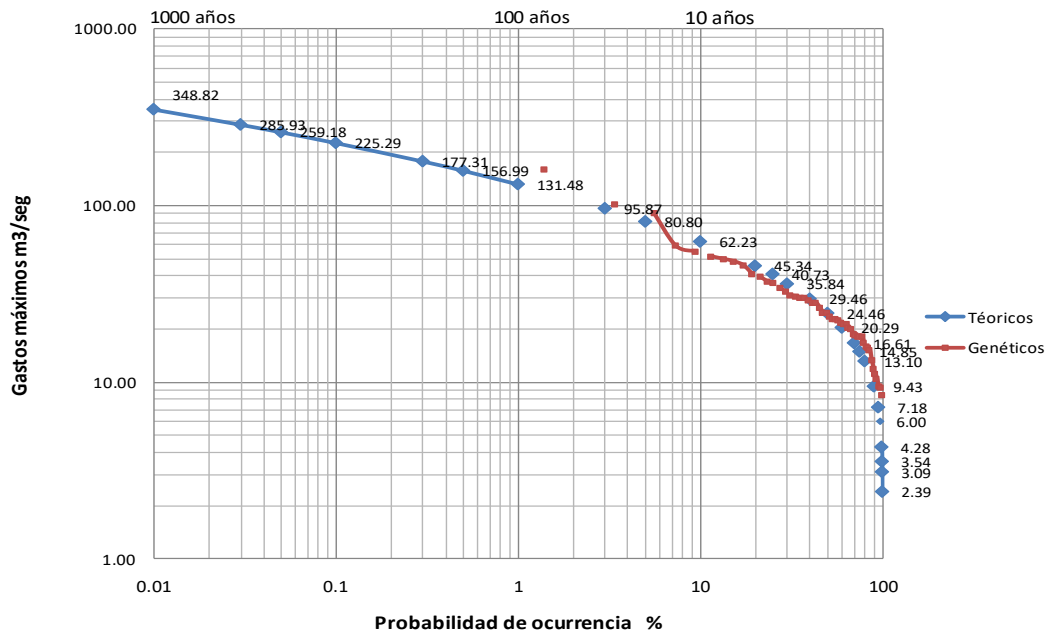
Fuente: Elaboración propia

Fig. No 1.1<sup>g</sup> Curva de probabilidades de gastos medios anuales río Atoyac, cuenca del río Verde, estación Paso Ancho periodo de observaciones 1957 - 2006 Método de distribución Gama - Tri paramétrica.



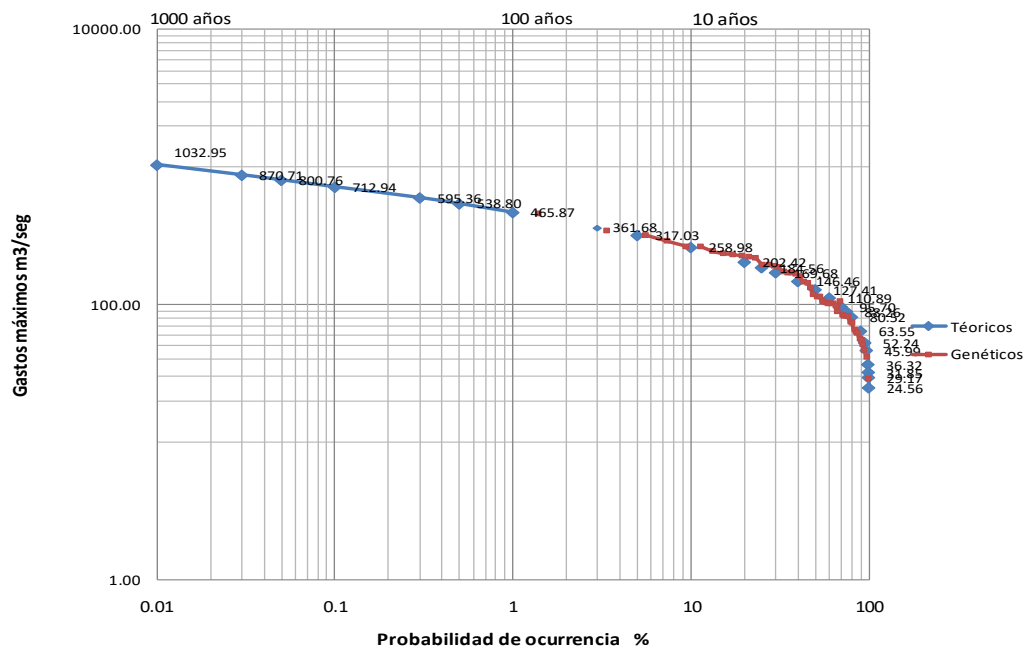
Fuente: Elaboración propia

Fig. No. 1.1<sup>h</sup> Curva de probabilidades de gastos medios en la temporada invernal río Atoyac, cuenca del río Verde, estación Paso Ancho periodo de observaciones 1957 – 2006. Método de distribución Gama - Tri paramétrica.



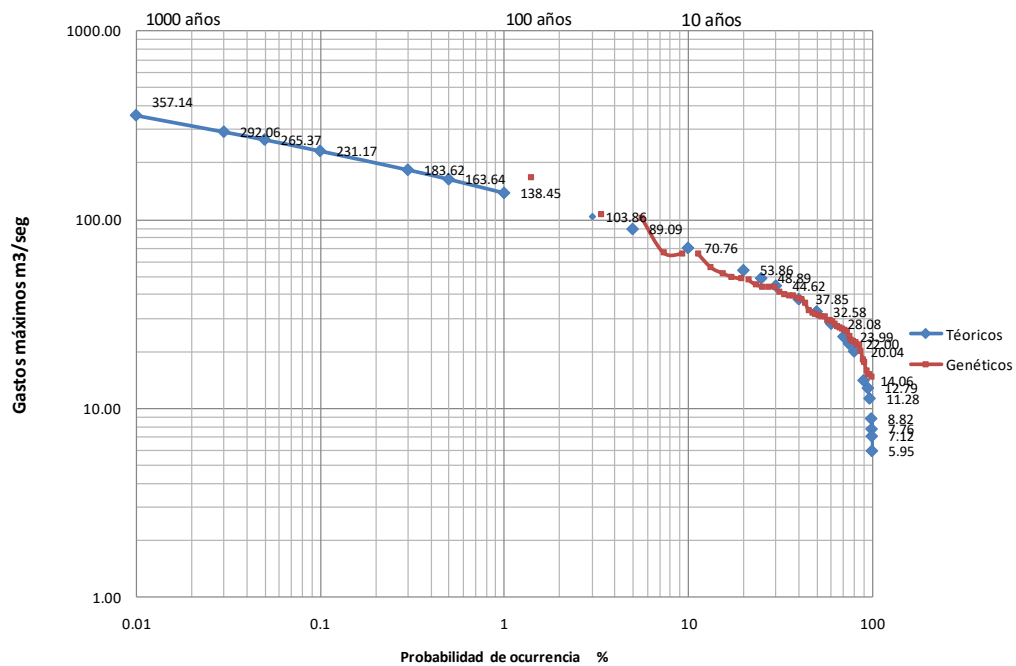
Fuente: Elaboración propia

Fig. No. 1.1<sup>i</sup> Curva de probabilidades de gastos medios en la temporada de primavera río Atoyac, cuenca del río Verde, estación Paso Ancho periodo de observaciones 1957 – 2006. Método de distribución Gama - Tri paramétrica.



Fuente: Elaboración propia

Fig. No. 1.1<sup>j</sup> Curva de probabilidades de gastos medios en la temporada de verano-otoño río Atoyac, cuenca del río Verde, estación Paso Ancho periodo de observaciones 1957 – 2006. Método de distribución Gama - Tri paramétrica.



Fuente: Elaboración propia

Fig. No. 1.1<sup>k</sup> Curva de probabilidades de gastos medios en la temporada de invierno-primavera río Atoyac, cuenca del río Verde, estación Paso Ancho periodo de observaciones 1957 – 2006. Método de distribución Gama - Tri paramétrica.

Cuadro 1 Características básicas de la estación hidrométrica Paso Ancho.

### Datos básicos E.H. Paso Ancho

Gasto medio multianual	$Q_o = \sum_{i=1}^n * Qi/n$	15.73		m <sup>3</sup> /seg
Modulo de escurrimiento	$M_o = \frac{Q_o * 10^3}{F}$	2.63		l / seg x Km <sup>2</sup>
Volumen de escurrimiento medio multianual	$W_o = Q_o * T$		497,737,207.00	m <sup>3</sup>
Lamina media de escurrimiento multianual	$h_o = \frac{W_o}{F * 10^3}$	83.36		mm/anales x Km <sup>2</sup>
Coefficiente de escurrimiento	$\alpha = \frac{h_o}{x_o}$		0.119254798	
Valor medio de la precipitación multianual	$x_o$	699		
Superficie de la cuenca	5971		Km <sup>2</sup>	
Error cuadrático medio	$\sigma_Q = \frac{C_v}{\sqrt{n}} * 100\%$	6.93		%
Cv=	0.49	Cs=	3.5Cv	1.715
Error cuadrático medio del coeficiente de variación	$\sigma_{C_v} = \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}} * 100\%$		16.48	%

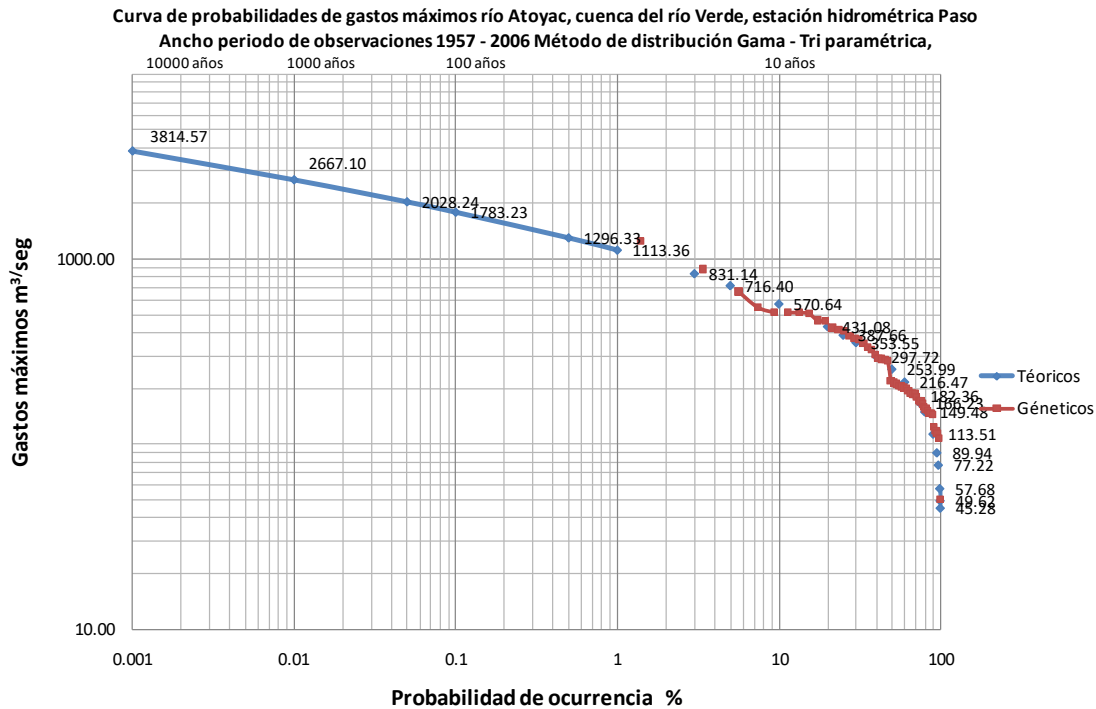
Fuente: Elaboración propia



Tabla No. 1.4<sup>c</sup> Cálculo de la curva de probabilidades de ocurrencia para los gastos máximos anuales en el Río Atoyac, Estación Paso Ancho, por el método Gamma Tri - Paramétrica

Fecha	n/n	año	Qmax	De mayor a menor (hmaxi)	$k = \sum Q_{max} / i \sum Q_{max} / o$	(k-1)	(k-1) <sup>2</sup>	(k-1) <sup>3</sup>	$P = (m-0.3/n+0.4) \times 100$	$Tr = (n+1-2a)/(m-a)$
		1	2	3	4	5	6	7	8	
03/08/1957	1	1957	194.10	1258.00	4.0564	3.0564	9.3415	28.5514	1.39	89.50
06/09/1958	2	1958	188.40	881.00	2.8408	1.8408	3.3884	6.2373	3.37	32.13
05-06/08/1959	3	1959	212.20	669.00	2.1572	1.1572	1.3391	1.5495	5.36	19.58
23/05/1960	4	1960	146.49	550.00	1.7735	0.7735	0.5982	0.4627	7.34	14.08
22/06/1961	5	1961	165.00	515.00	1.6606	0.6606	0.4364	0.2883	9.33	10.99
02/09/1962	6	1962	290.00	514.00	1.6574	0.6574	0.4322	0.2841	11.31	9.01
30/09/1963	7	1963	385.00	514.00	1.6574	0.6574	0.4322	0.2841	13.29	7.64
17/06/1964	8	1964	215.00	508.00	1.6380	0.6380	0.4071	0.2597	15.28	6.63
06/08/1965	9	1965	180.00	467.00	1.5058	0.5058	0.2559	0.1294	17.26	5.86
20/09/1966	10	1966	201.00	464.00	1.4962	0.4962	0.2462	0.1221	19.25	5.24
26/09/1967	11	1967	170.00	426.00	1.3736	0.3736	0.1396	0.0522	21.23	4.75
30/06/1968	12	1968	187.00	417.00	1.3446	0.3446	0.1188	0.0409	23.21	4.34
24/08/1969	13	1969	467.00	411.00	1.3253	0.3253	0.1058	0.0344	25.20	3.99
10/08/1970	14	1970	306.00	385.00	1.2414	0.2414	0.0583	0.0141	27.18	3.70
05/10/1971	15	1971	514.00	374.00	1.2060	0.2060	0.0424	0.0087	29.17	3.44
18/06/1972	16	1972	514.00	366.00	1.1802	0.1802	0.0325	0.0058	31.15	3.22
07/09/1973	17	1973	286.00	352.00	1.1350	0.1350	0.0182	0.0025	33.13	3.03
17/06/1974	18	1974	1258.00	336.00	1.0834	0.0834	0.0070	0.0006	35.12	2.85
17/09/1975	19	1975	669.00	324.00	1.0447	0.0447	0.0020	0.0001	37.10	2.70
08/07/1976	20	1976	515.00	306.00	0.9867	-0.0133	0.0002	0.0000	39.09	2.56
20/06/1977	21	1977	187.00	290.00	0.9351	-0.0649	0.0042	-0.0003	41.07	2.44
20/08/1978	22	1978	124.00	289.00	0.9319	-0.0681	0.0046	-0.0003	43.06	2.32
20/09/1979	23	1979	374.00	286.00	0.9222	-0.0778	0.0061	-0.0005	45.04	2.22
15/08/1980	24	1980	508.00	283.00	0.9125	-0.0875	0.0077	-0.0007	47.02	2.13
27/08/1981	25	1981	881.00	219.00	0.7062	-0.2938	0.0863	-0.0254	49.01	2.04
03/05/1982	26	1982	50.20	215.00	0.6933	-0.3067	0.0941	-0.0289	50.99	1.96
25/06/1983	27	1983	118.00	212.20	0.6842	-0.3158	0.0997	-0.0315	52.98	1.89
06/07/1984	28	1984	324.00	207.00	0.6675	-0.3325	0.1106	-0.0368	54.96	1.82
16/08/1985	29	1985	159.00	205.00	0.6610	-0.3390	0.1149	-0.0390	56.94	1.75
02/06/1987	30	1986	202.00	202.00	0.6513	-0.3487	0.1216	-0.0424	58.93	1.70
12/06/1987	31	1987	155.00	201.00	0.6481	-0.3519	0.1238	-0.0436	60.91	1.64
08/09/1988	32	1988	352.00	194.10	0.6259	-0.3741	0.1400	-0.0524	62.90	1.59
22/06/1989	33	1989	550.00	188.40	0.6075	-0.3925	0.1541	-0.0605	64.88	1.54
19/09/1990	34	1990	147.00	187.00	0.6030	-0.3970	0.1576	-0.0626	66.87	1.49
11/10/1991	35	1991	207.00	187.00	0.6030	-0.3970	0.1576	-0.0626	68.85	1.45
17/05/1992	36	1992	114.00	180.00	0.5804	-0.4196	0.1761	-0.0739	70.83	1.41
05/07/1993	37	1993	426.00	171.00	0.5514	-0.4486	0.2013	-0.0903	72.82	1.37
17/09/1994	38	1994	145.00	170.00	0.5482	-0.4518	0.2042	-0.0922	74.80	1.33
23/08/1995	39	1995	411.00	165.00	0.5320	-0.4680	0.2190	-0.1025	76.79	1.30
17/06/1996	40	1996	283.00	159.00	0.5127	-0.4873	0.2375	-0.1157	78.77	1.27
09/10/1997	41	1997	464.00	155.00	0.4998	-0.5002	0.2502	-0.1252	80.75	1.24
26/09/1998	42	1998	289.00	151.00	0.4869	-0.5131	0.2633	-0.1351	82.74	1.21
01/10/1999	43	1999	366.00	147.00	0.4740	-0.5260	0.2767	-0.1455	84.72	1.18
18/09/2000	44	2000	171.00	146.49	0.4724	-0.5276	0.2784	-0.1469	86.71	1.15
10/09/2001	45	2001	219.00	145.00	0.4675	-0.5325	0.2835	-0.1510	88.69	1.12
15/06/2002	46	2002	151.00	124.00	0.3998	-0.6002	0.3602	-0.2162	90.67	1.10
27/06/2003	47	2003	417.00	118.00	0.3805	-0.6195	0.3838	-0.2378	92.66	1.08
21/09/2004	48	2004	108.00	114.00	0.3676	-0.6324	0.3999	-0.2529	94.64	1.05
06/10/2005	49	2005	336.00	108.00	0.3482	-0.6518	0.4248	-0.2769	96.63	1.03
02/09/2006	50	2006	205.00	50.20	0.1619	-0.8381	0.7025	-0.5888	98.61	1.01
			15506.39	214.52	DESVEST	0.0000	23.4458	35.0901		
máximo	Q <sub>máx</sub>	1258.00								
medio	Q <sub>o</sub>	310.13	Gasto máximo medio anual							
mínimo	Q <sub>mín</sub>	50.20								
					$Cv = \sqrt{(\sum [(k-1)]^2) / (n-1)}$	coeficiente de variación			0.692	$C_s = 3.5 C_v$

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Fig. No. 1.1<sup>1</sup> Distribución Gamma Tri paramétrica de los gastos máximos anuales, para diversas probabilidades de ocurrencia.

**1.2.-La variación temporal de los escurrimientos en los ríos.**

*La contradicción entre la variación temporal, respecto a las reservas de agua continentales y las necesidades del hombre por este recurso, es tanto igual o mayor en complejidad, como la distribución espacial y temporal del agua.* Los cambios temporales de los escurrimientos, se incrementan conforme nos acercamos a climas áridos y por tanto este comportamiento nos pone en una situación más crítica, para poder dar una solución a los problemas de suministro de agua en las zonas áridas y semiáridas.

Así como en gran parte del territorio de la República Mexicana y en el planeta, los ríos durante dos o tres meses arrojan más de la mitad de sus escurrimientos a los lagos, mares y océanos, por otro lado, las avenidas máximas extraordinarias no coinciden con la demanda máxima de agua para cubrir las necesidades de agua por los diversos sectores usuarios.

*Desde el punto de vista del uso del agua, la condición más favorable, sería el poder realizar una redistribución de los escurrimientos interno anual, en forma uniforme o cercana a esta, principalmente poder realizar algún incrementó en la época de estiaje.* Una situación óptima podemos considerar, en aquellas corrientes superficiales que se alimentan de escurrimientos provenientes de deshielos, como ocurre en los ríos de Suiza, así como en los ríos Sirdaría y Amudaría en Asia Central.

Estas dos últimas corrientes, desde hace décadas son utilizadas por el hombre en sistemas hidroagrícolas con suelos altamente fértiles, pero con problemas de mineralización y disminución de los escurrimientos, así el mar de Aral, el cual ha disminuido su volumen en un 80%, así mismo podemos mencionar aquellos ríos que tienen una alta regulación natural( cuencas con cuerpos de agua alimentados con aguas subterráneas), que sufren pequeñas fluctuaciones en sus escurrimientos, tal situación es muy común en los grandes ríos que se encuentran en la zona Ecuatorial, donde se presentan lluvias muy intensas y prolongadas, que alimentan durante todo el

año a los ríos del Amazonas, Congo (Zaire), Níger, entre otros. En el caso de México tenemos los ríos Usumacinta, Grijalva, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas y Panuco, entre otros.

En las zonas áridas y semiáridas los cauces de las corrientes intermitentes, durante la generación de una tormenta a otra pueden quedarse totalmente secos durante varios años, cuyos períodos de retorno tienen una muy baja repetición. Las variaciones interno anuales de los escurrimientos, es característico de los ríos que se encuentran al norte de los continentes, los cuales se alimentan de deshielos producto de precipitaciones sólidas (nieve, agua nieve y granizo), como los ríos de Escandinavia, Alaska, norte de Canadá y oeste de Siberia. Durante la época de deshielo en la primavera por dos o tres meses escurre por estos ríos de un 70% a un 80% de su escurrimiento anual. Muy cerca de sus límites fronterizos de las zonas mencionadas, los escurrimientos por deshielo tienen lugar durante 1.5 a 2 meses de la primavera, en la época de verano los grandes ríos que sustentan importantes zonas agrícolas, se secan.

Por otro lado, los ríos con climas del tipo Monzónico, como es el caso en el sur y sureste de Asia, se forma su principal volumen de escurrimiento, en la época de verano-otoño, la cual nos permite utilizar para cubrir las demandas de agua en el riego, tal como ocurre en nuestro país. Cuando se realiza una buena redistribución interno anual de los escurrimientos(a excepción de la primavera) (Ver Olvera S.J.J.D. año 2000), en algunos años en estas regiones se producen inundaciones catastróficas, que paralizan todas las actividades hidroeconómicas donde estas ocurren, causando pérdidas humanas y materiales de importancia. Tal como ocurre en la India, Bangladesh, China, Indo China, en la zona central y occidental de los Estados Unidos de Norte América, así como en muchas otras zonas donde se presenta el Monzón con clima tropical y subtropical, las inundaciones que tienen lugar son de gran poder destructivo, por lo que generalmente se declaran como zonas de desastre natural. A lo largo de la historia humana las inundaciones catastróficas, son provocadas por lluvias de gran intensidad por largos períodos(semanas o meses), estas inundaciones se han observado en repetidas veces en las cuencas hidrológicas de los ríos Yang Tze Kiang, Huang He, Ganges, Brahmaputra, Indo, así como en los ríos de las islas Filipinas, en la cuenca del río Mississippi, en el río Amazonas, en los ríos de la costa de Chiapas, Grijalva, Usumacinta, Papaloapan, Panuco, Balsas, Lerma, Santiago, ríos del Norte de Veracruz, Costa de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y en muchos otros.

La irregularidad temporal de la distribución de los escurrimientos, nos arriba a situaciones críticas aun en aquellas zonas con una humedad media anual óptima, en algunos meses y años pueden ocurrir estiajes e inundaciones severas, que requieren de una regulación temporal y anual de los escurrimientos [Olvera S.J.J.D. 2000].

*Debemos tomar en cuenta cuando ocurren temporalmente fuertes variaciones de los escurrimientos y que no podemos utilizar en la mayoría de los casos las avenidas momentáneas, lo procedente es elaborar una planificación moderna que considere además del escurrimiento total, el escurrimiento base. La disponibilidad de escurrimientos (regulados por las presas), representa actualmente en promedio para todo el planeta 8.6 m<sup>3</sup> por habitante al día.*

La problemática de la fluctuación multianual de los escurrimientos en los ríos y la variación de los niveles en los cuerpos de agua continentales como lagos, lagunas, mares interiores, están totalmente ligados a la irregularidad interno anual de los escurrimientos, *lo anterior representa un proceso hidrológico muy actual, que durante muchos años ha llamado la atención de gran cantidad de científicos de todo el mundo.*

En los últimos años gran interés causó para los hidrólogos el estudio del comportamiento multianual de los escurrimientos, lo cual dio pie a la participación de los científicos, en la elaboración de una gran cantidad de trabajos, en el sentido de elaborar métodos para el pronóstico hidrológico a largo plazo, en particular para la planeación y construcción de grandes sistemas hidroeconómicos.

*Las investigaciones han determinado que la variación de los escurrimientos durante el período de observaciones (un poco más de 150 años), presenta un carácter cíclico, con diversos intervalos de tiempo de los ciclos y una desviación de los escurrimientos con respecto a su media multianual. Cualquier periodicidad más o menos estable en cuanto a la variación de los escurrimientos no se logró obtener, cada nuevo ciclo no se repite por completo con respecto a los ya ocurridos.*

Por investigaciones efectuadas por el científico Kusin P.S., 1970, determinó que el coeficiente de módulo de los escurrimientos mínimos expresados en l/s por cada Km<sup>2</sup> ( $Km_0 = (Q_0 \times 10^3)/A$ ; donde:  $Q_0$  - gasto medio multianual en m<sup>3</sup>/s, A - área de cuenca en Km<sup>2</sup>), en la etapa de variaciones anuales cíclicas de los escurrimientos( incluyendo aquellos años donde los escurrimientos medios presentan un período de retorno mayor del 75%), disminuyen conforme nos acercamos a las zonas áridas, cabe mencionar que en las zonas con exceso de humedad los valores son, de 0.5 a 0.9 y en las zonas áridas de 0.1 a 0.4. Los límites de cambió de los coeficientes de módulo para los escurrimientos durante la fase de abundancia (que incluyen años con escurrimientos medios para períodos de retorno menores del 25 %), esta diferencia es muy significativa en diversas zonas climáticas, varían de 1.1 a 2.6.

La duración de la fase de estiaje, en los ciclos históricos del comportamiento de los escurrimientos representa de 2 a 3 y de 15 a 20 años, para ciclos completos que incluyen fases de abundancia y déficit de escurrimientos de 2 a 3 y de 25 a 40 años. Por lo anterior entendemos que durante períodos prolongados los escurrimientos temporales en los ríos, en diversas zonas del planeta pueden ser considerablemente menores a sus valores medios multianuales. Tal escasez provoca pérdidas colosales a todas las actividades hidroeconómicas, que están calculadas con valores de escurrimientos medios.

El análisis de variación cíclica de los escurrimientos multianuales en los continentes muestra que no se observa una total coincidencia de una sincronización cíclica en la mayoría de los casos aun en las cuencas hidrológicas vecinas. Solo podemos dar seguimiento a la variación de desfase de los escurrimientos en los ríos, al mismo tiempo algunas características de las etapas del ciclo de escurrimientos máximos y mínimos (los tiempos de ocurrencia respecto a la continuidad de los escurrimientos), es muy variable. Las fronteras entre regiones hidrológicas con variaciones asincrónicas de los escurrimientos, cambian anualmente como lo han demostrado los múltiples investigadores, que trabajan en esta área de la hidrología.

*El análisis y la determinación del grado de sincronización o asincronización en las cuencas hidrológicas, tienen gran importancia para las actividades hidroeconómicas, principalmente cuando se pretende efectuar grandes obras de transferencia de volúmenes de agua de una cuenca a otra o de una región hidrológica a otra, para una redistribución de los escurrimientos. Anticipadamente podemos suponer que el mayor efecto, se puede alcanzar cuando, se tiene un proceso sincronizado de los escurrimientos, tanto en la cuenca donadora, así como en la cuenca receptora de agua.* Desde este punto de vista resulta interesante comparar los coeficientes de correlación de los escurrimientos de varios ríos, que se encuentran considerados en los proyectos de redistribución de los escurrimientos (transferencia de escurrimientos) en calidad de donadores y receptores. Esta comparación nos permite en forma efectiva evaluar el grado de asincronización (o desfaseamiento) de sus escurrimientos anuales.

Cuando en una presa se incrementa el área del embalse, crecen las probabilidades de unir ríos con diversos comportamientos hidrológicos, durante el análisis de los registros históricos multianuales. El escurrimiento adquiere una amplia estabilidad en el tiempo, el escurrimiento total en las zonas áridas de un año a otro prácticamente no varía.

### **1.3.- Los recursos hídricos en el planeta y el ciclo hidrológico.**

Como sabemos el agua es la sustancia más apreciada en la naturaleza, el agua se encuentra en tres estados naturales, líquido, sólido y vapor de agua. En estado sólido tenemos el hielo y la cobertura de nieve en la región polar y los Alpes. Alguna cantidad de agua se encuentra suspendida en el aire, en forma de vapor de agua la cual se precipita y se distribuye en la biosfera en forma de cristales de hielo. Una enorme cantidad de agua se transforma y entra en la composición de diversos minerales de la corteza terrestre.

El acceso real al agua almacenada en la tierra, representa un problema muy complicado, debido principalmente a que el agua es un elemento sumamente dinámico, que se encuentra en constante movimiento y transformación. Para evaluar cuantitativamente el agua almacenada, es necesario determinar la forma, dirección y ubicación de los volúmenes de agua en el planeta, así como la manera en que puede ser cuantificado. Generalmente el agua se encuentra en la hidrosfera

distribuida en forma libre en estado sólido, líquido y gaseoso en la atmósfera, en la superficie de la corteza terrestre y el agua subterránea.

Las evaluaciones modernas estiman que en la hidrosfera tenemos una cantidad de agua de aproximadamente 1,386 millones de Km<sup>3</sup>, de este volumen el 97.5% es agua salada y únicamente el 2.5% es agua dulce, del 2.5% de agua dulce, gran parte se encuentra en estado sólido, en forma de hielo y nieves eternas, que se localizan en la Antártica y el Ártico y zonas montañosas (68.9%), del cual un 29.9% es agua subterránea y únicamente el 0.3% del total de agua dulce se encuentra en los continentes, en las cuencas hidrológicas, es decir en las corrientes superficiales y cuerpos de agua (lagos, lagunas y represas), finalmente un 0.9 % incluye otro tipo de aguas, tierra húmeda, agua de pantanos, cobertura de escarcha permanente.

Con el (0.3 %) de este volumen debemos cubrir las demandas de agua para los ecosistemas y las actividades hidroeconómicas. Para evaluar las características del agua, se han considerado las condiciones naturales del agua almacenada en la hidrosfera. Donde la cantidad total de agua, acumulada durante un largo período se encuentra en los cuerpos de agua superficiales, acuíferos y la atmósfera.

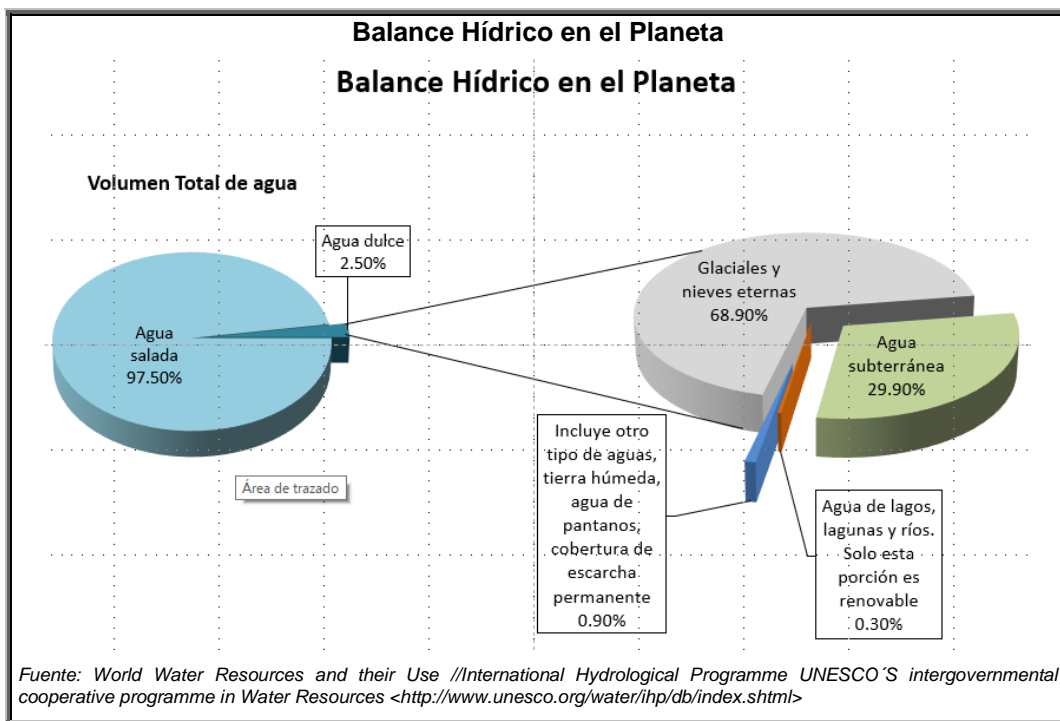


Fig. No 1.2 Balance Hídrico en el Planeta

### 1.3.1 Los orígenes del agua en la Tierra

La hidrosfera<sup>1</sup> que rodea la Tierra incluye formas de agua líquida, sólida y gaseosa. El ciclo hidrológico transporta esta agua por la Tierra intercambiando energía y moviendo materiales como parte del proceso. La unidad de la hidrosfera está determinada no solo por su continuidad sino también por el constante intercambio de agua entre todos sus elementos. La hidrosfera incluye todo tipo de aguas naturales: océanos, mares, ríos, lagos y glaciares, aguas subterráneas, atmosféricas y biológicamente combinadas. Se supone que el límite inferior de la hidrosfera está al nivel de la superficie de Mokhorovichich, y el límite superior prácticamente coincide con el límite superior atmosférico (Blyutgen, 1972). Las aguas marinas, lacustres, fluviales, glaciares, subterráneas y atmosféricas están interrelacionadas y el agua pasa de una situación a otra a medida que avanza el ciclo hidrológico (Glushkov, 1929; Vernadsky, 1967).

La hidrosfera terrestre es uno de los mantos más antiguos de este planeta y apareció hace entre 3.500 y 4.000 millones de años (Klige et al., 1998). Se desarrolló junto con y en estrecha relación

con la litosfera, la atmósfera y luego con la vida misma. Hasta el momento no se han explicado completamente los mecanismos del origen del agua en la Tierra (Kotwicki, 1991). Sin embargo, la teoría de la desgasificación parece ser la explicación más probable.

(Rubey, 1951; Vinogradov, 1959; Artyushkov, 1970; Condie, 1989). Según esta teoría, la masa básica de la hidrosfera se formó como resultado de los procesos de fusión y desgasificación del manto terrestre y estuvo determinada por procesos geofísicos que operan en profundidad.

Se supone que el mecanismo es que el vapor de agua, los compuestos de carbono CO<sub>2</sub>, CO y CH<sub>4</sub>, el amoníaco, el azufre y sus compuestos H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub>, los haluros de ácido HCl, HF, HBr, el ácido bórico, el hidrógeno, el argón y algunos otros gases llegaron a Superficie de la Tierra durante la desgasificación de la lava (Monin y Shishkov, 1979; Holland, 1989). La mayor parte de los gases volcánicos se condensaron y se transformaron en agua, formando la hidrosfera.

Los vapores ácidos HCl, HF, HBr, amoníaco, azufre y sus compuestos, y una parte considerable del CO<sub>2</sub> se disolvieron en gotas de agua condensada y cayeron como lluvia ácida a la superficie terrestre. Estos flujos de ácido corrieron hacia lugares bajos (depresiones oceánicas) en la superficie primaria de la Tierra, al mismo tiempo que reaccionaron con las rocas subyacentes y extrajeron de ellas la cantidad equivalente de álcali y tierras alcalinas. El agua oceánica parecía ser salina desde el principio, y las aguas terrestres dulces como resultado de la lixiviación que se produjo en 1 Existen diferentes interpretaciones del término "hidrosfera" y puntos de vista sobre su origen (Hydrosphere, 1960; Belousov et al., 1972; Chebotarev, 1978; Monin y Shishkov, 1979; L'vovich, 1986; Kotwicki, 1991; Hydrosphere, 1993a, b).

la zona superior de la corteza terrestre, permaneciendo salina sólo en las zonas profundas. Algunos científicos (Shoemaker, 1984; Alvarez, 1987) no están de acuerdo con esta teoría sobre el origen de la hidrosfera. Consideran que la Tierra ha experimentado durante su historia numerosas colisiones con cometas que eran fuentes potenciales de agua. Las estimaciones de la cantidad de agua formada de esta manera en las primeras etapas de la evolución de la Tierra varían del 4% al 40% (Chyba, 1987) y algunos sugieren proporciones aún mayores (Hoyle, 1978) del volumen.

Los estudios geológicos actuales han demostrado que la hidrosfera existió durante la mayoría de los períodos geológicos (Markov, 1960; Strakhov, 1963). Según cálculos (Timofeyev et al., 1988) el manto terrestre contiene  $28 \times 10^9$  km<sup>3</sup> de agua, lo que favorece la desgasificación como origen de la hidrosfera. Durante la historia temprana de la Tierra, la desgasificación fue más intensa. La masa básica de la hidrosfera probablemente se habría formado durante los primeros cientos de millones de años. Los océanos aparecieron rápidamente durante este tiempo (Kuenen, 1950).

Sin embargo, Revelle (1955) opinaba que los océanos aparecían tarde y rápidamente. Según Schopf (1980), el mayor volumen de desgasificación ocurrió hace entre 4.600 y 2.500 millones de años, y según Sorokhtin (1974), la tasa máxima de crecimiento tuvo lugar durante el Bajo Rifeo.

Nuevos estudios (Staudacher y Allegre, 1982; Hydrosphere, 1993 a, b) muestran que la Tierra se desgasificó rápidamente durante los 50 millones de años posteriores a su origen. Los resultados de estudios posteriores en esta área han sido generalizados por Holland (1989) y Kump (1989). Durante el Período Arcaico, el relieve de la superficie de la Tierra fue tenue y el agua cubrió un área de aproximadamente 500 millones de km<sup>2</sup> (Klige, 1992). Hubo un clima cálido y húmedo sin zonas latitudinales definidas y con períodos alternos en los que ocurrieron calentamientos y enfriamientos menores junto con la glaciación (Monin y Shishkov, 1979). En la Era Proterozoica, la fotosíntesis se volvió activa con el desarrollo de materia viva en la hidrosfera (Alpatjyev, 1983).

El aumento paulatino de la superficie terrestre con el aumento del espesor de la corteza terrestre y el desarrollo de las montañas ejerció un efecto considerable sobre el ciclo hidrológico. En este momento las condiciones eran más áridas y se desarrollaron capas de hielo en distintas zonas climáticas, el ciclo hidrológico entre los océanos, la atmósfera y la tierra se volvió más activo y se desarrolló una red fluvial (Drozdov et al., 1981).

En la Era Paleozoica el ciclo hidrológico se volvió más complicado debido a los cambios en la relación entre el área del océano y la tierra. Durante este período el océano alcanzó su mayor tamaño en el Ordovícico. Los depósitos marinos muestran que esta fue la transgresión más poderosa en la historia de la Tierra. La superficie terrestre era de 72 millones de km<sup>2</sup> o el 50% de

su tamaño actual. El nivel del mar subió más de 250 m y el 83% de nuestro planeta quedó cubierto por agua (Klige, 1980). En contraste, el área de la tierra fue mayor durante el Mesozoico cuando el nivel del mar era 100 m más bajo que en la actualidad.

Simultáneamente con la disminución del tamaño de los océanos y el aumento de la elevación de los continentes, como resultado del desarrollo de los procesos de formación de montañas, las condiciones climáticas se hicieron más áridas, la escorrentía disminuyó y una parte considerable del agua quedó atrapada en capas de hielo y glaciares. En este momento el carácter del ciclo del agua se acercó al que existe hoy.

Hacia el Mesozoico la composición gaseosa de la atmósfera había cambiado mucho, como consecuencia del aumento de la cantidad de dióxido de carbono y oxígeno debido al desarrollo de la vida vegetal y animal. Hay evidencia de climas boreales, húmedos y subtropicales en la tierra a finales del Triásico (Razumikhin, 1976).

La gran transgresión oceánica reciente comenzó a fines del Jurásico y alcanzó su punto máximo en el Cretácico. Desde entonces, el océano ha retrocedido en general y la superficie terrestre ha aumentado (en unos 35 millones de km<sup>2</sup>), y esto ha ido acompañado de una poderosa formación de montañas de tipo alpino en la mayoría de los continentes. Esto ha llevado a un aumento en el papel del agua continental en el ciclo global del agua.

Más recientemente, se pueden rastrear amplias fluctuaciones en la distribución de la tierra y el agua, particularmente en el Pleistoceno, durante el último millón de años como resultado del cambio en las condiciones climáticas acompañadas de alteraciones en el régimen hídrico en la superficie terrestre.

El enfriamiento, que aparecía periódicamente como consecuencia de las variaciones en la cantidad de radiación solar que llegaba a la superficie terrestre, dio lugar a la formación de grandes glaciaciones continentales. Los glaciares acumularon enormes masas de agua, más de 60 millones de km<sup>3</sup>, lo que resultó en la disminución del nivel del mar en más de 100 m. Al mismo tiempo, se acumuló una cantidad considerable de humedad (hasta 1 millón de km<sup>3</sup>) en las extensas cuencas de drenaje cerradas de los continentes. También hay cambios en el volumen de agua subterránea con un almacenamiento que aumenta considerablemente durante los períodos húmedos.

**Tabla No 1.4<sup>d</sup> Contenido de agua en la hidrosfera**

Tipo de agua	Área de distribución en [ Km <sup>2</sup> x 10 <sup>6</sup> ]	Volumen Km <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup>	Capa de agua, m	Fración del volumen total de la hidrosfera, %	Porcentaje de agua dulce, %
Océano mundial	361300	1338000	3700	96.5	
Agua subterránea (gravedad y capilar)	134800	23400	174	1.70	
Agua subterránea predominantemente dulce	134800	10530	78	0.76	30.10
La humedad del suelo	82000	16.5	0.2	0.001	0.05
Glaciares y manto de nieve permanente	16227.5	24064	1463	1.740	68.70
Antártida	13980	21600	25-mar	1.560	61.70
Groenlandia	1802.4	2340	1298	0.170	6.68
Islas árticas	226.1	83.5	369	0.006	0.24
Región montañosa	224	40.6	181	0.003	0.12
Hielo molido de la zona de permafrost	21000	300	14	0.022	0.86
Lagos de agua	2058.7	176.4	85.7	0.130	
Dulce	1236.4	91	73.6	0.007	0.26
Salada	822.3	85.4	103.8	0.006	
Agua de pantano	2682.6	11.5	4.28	0.001	0.03
Agua corriente de río	148800	2.12	0.014	0.000	0.01
Agua biológica	510000	1.12	0.002	0.000	0.00
Agua en el aire	510000	12.9	0.025	0.001	0.04
Volumen total de la hidrosfera	510000	1386000	2718	100.00	
Agua dulce	148800	35029.2	235	2.53	100.00

<sup>a</sup> Sin tener en cuenta el agua subterránea de la Antártida, aproximadamente estimada en 2 millones de km<sup>3</sup>, incluida predominantemente agua dulce de alrededor de 1 millón de km<sup>3</sup>

Fuente: I.A. Shiklomanov and John C. Rodda. World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. International Hydrology Series. UNESCO 2003.

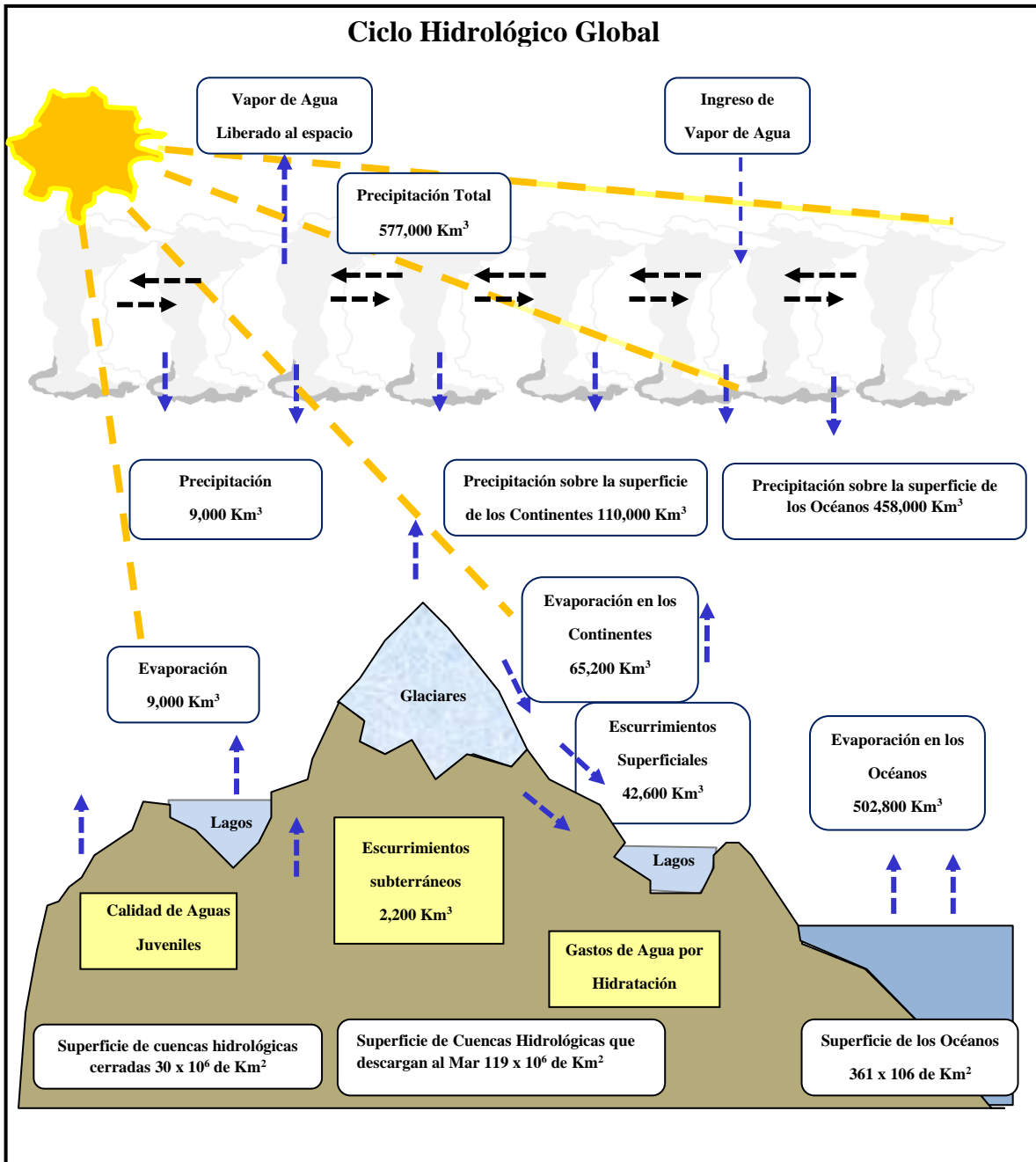
Durante intervalos de tiempo cortos (anual, temporal y mensual), los volúmenes de agua almacenada en la hidrosfera, permanentemente sufren variaciones temporales y la duración de estos cambios, ocurren en los continentes, los océanos y la atmósfera. Como sabemos estos cambios normalmente son provocados por las mismas características del ciclo hidrológico a nivel global.

Por efecto del calor solar, se evapora el agua superficial, la cual se desplaza a niveles superiores de la atmósfera, formando una corriente de vapor de agua.

En este proceso hidrológico los cuerpos de agua superficiales en el planeta, se retro alimentan de precipitaciones, formando con los escurrimientos ríos, lagos, lagunas, recarga de acuíferos y glaciares. Una parte de las precipitaciones se reincorpora a la atmósfera en forma de vapor de agua, recarga de los acuíferos, el resto se incorpora a los océanos a través de los ríos y así cada vez, se repite este proceso hidrodinámico permanentemente. Gran parte del escurrimiento como ya vimos se evapora, por la intrincada red fluvial. Los índices cuantitativos de las diversas componentes del ciclo hidrológico a nivel global, han sido calculados por diversos hidrólogos, dentro de los cuales se destaca, Kalinin G.P., Lvovich M.I., Klige R.K., Shiklomanov I.A. Rodda G.

Como sabemos de los resultados obtenidos por los científicos en cuanto a la renovación anual del agua en el planeta se precipita un volumen de 577,000.00 Km<sup>3</sup> de agua, de este volumen se evapora de la superficie de los océanos 502,800.00 Km<sup>3</sup> de agua y de la superficie de los continentes 74,200.00 Km<sup>3</sup> de agua, esta cantidad de agua cae en forma de precipitación (en los océanos 458,000.00 Km<sup>3</sup> y en los continentes 119,000.00 Km<sup>3</sup>), las diferencias entre el agua que se evapora y la precipitación de la superficie de los continentes resulta ser de 44,800.00 Km<sup>3</sup>/año, lo que representa el total de escurrimientos de los ríos en el planeta 42,600.00 Km<sup>3</sup>/año y el escurrimiento base "aguas subterráneas", es del orden de 2,200.00 Km<sup>3</sup>/año. Lo anterior representa el principal recurso de agua para cubrir las necesidades del hombre en sus actividades hidroeconómicas.





Fuente: World Water Resources and their Use //International Hydrological Programme UNESCO'S intergovernmental cooperative programme in Water Resources <<http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml>>

Fig. No 1.2\* Ciclo Hidrológico Global

El agua en los ríos es muy importante para el ciclo hidrológico global, y para poder reconocer qué volumen disponible se tiene para cubrir las necesidades humanas. Lo anterior nos permite entrever el papel tan importante que juegan las diversas variables hidrológicas en el planeta, así como la valoración de las reservas de agua y su comportamiento hidrodinámico. Generalmente estos cálculos se realizan para todo un período de renovación.

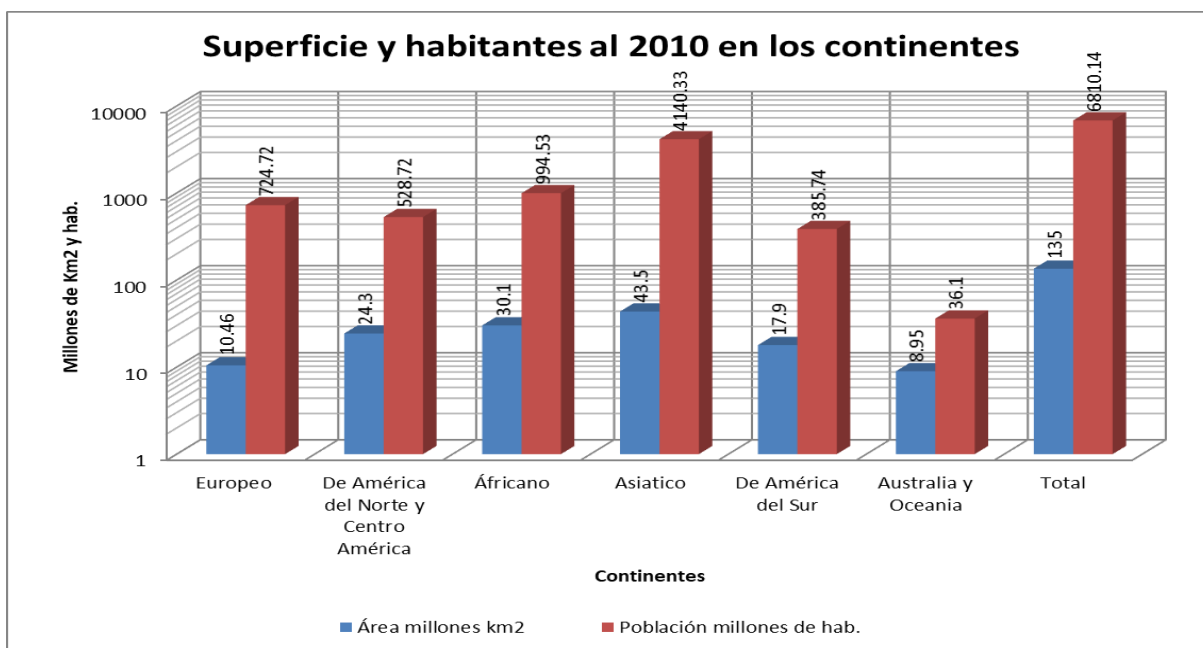
El agua en la hidrosfera, bajo diversas condiciones se recupera por completo, es decir durante un ciclo hidrológico. La evaluación se efectúa para diversos intervalos de tiempo, en las Tabla 1.5 se

presenta la información global tabular y gráfica por Continente, en las Figuras 1.2.1, 1.2.2, así mismo se presenta el desglose por principales países y continentes, en las Fig.1.3'

**Tabla No 1.5 Recursos hídricos renovables y disponibilidad de agua por continentes- año 2010**

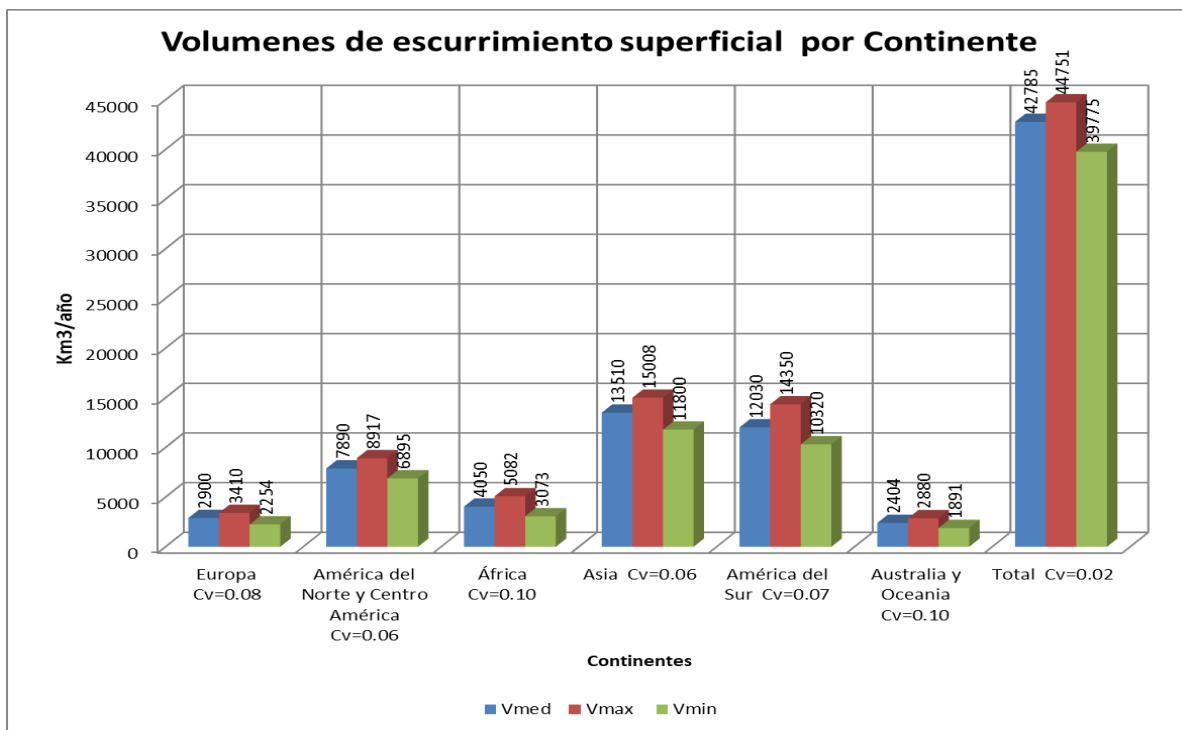
Continente	Área millones km <sup>2</sup>	Población millones de hab.	Recursos hídricos, km <sup>3</sup> /año					Potencial de agua (Km <sup>3</sup> )/año per cápita
			Med	Max	Min	Cv	por 1 km <sup>2</sup>	
Europa	10.46	724.72	2900	3410	2254	0.08	277	4.00
América del Norte y Centro América	24.3	528.72	7890	8917	6895	0.06	324	14.92
África	30.1	994.53	4050	5082	3073	0.1	134	4.07
Asia	43.5	4140.33	13510	15008	11800	0.06	311	3.26
América del Sur	17.9	385.74	12030	14350	10320	0.07	672	31.19
Australia y Oceanía	8.95	36.1	2404	2880	1891	0.1	269	66.59
<b>Total</b>	<b>135</b>	<b>6810.14</b>	<b>42785</b>	<b>44751</b>	<b>39775</b>	<b>0.02</b>	<b>317</b>	<b>6.28</b>

Nota: Cálculos propios de acuerdo con el Censo de población del año 2010 FAO.



Nota: Cálculos propios de acuerdo con el Censo de población del año 2010 FAO

**Fig. No 1.2.1 Representación de habitantes y superficies por continente.**

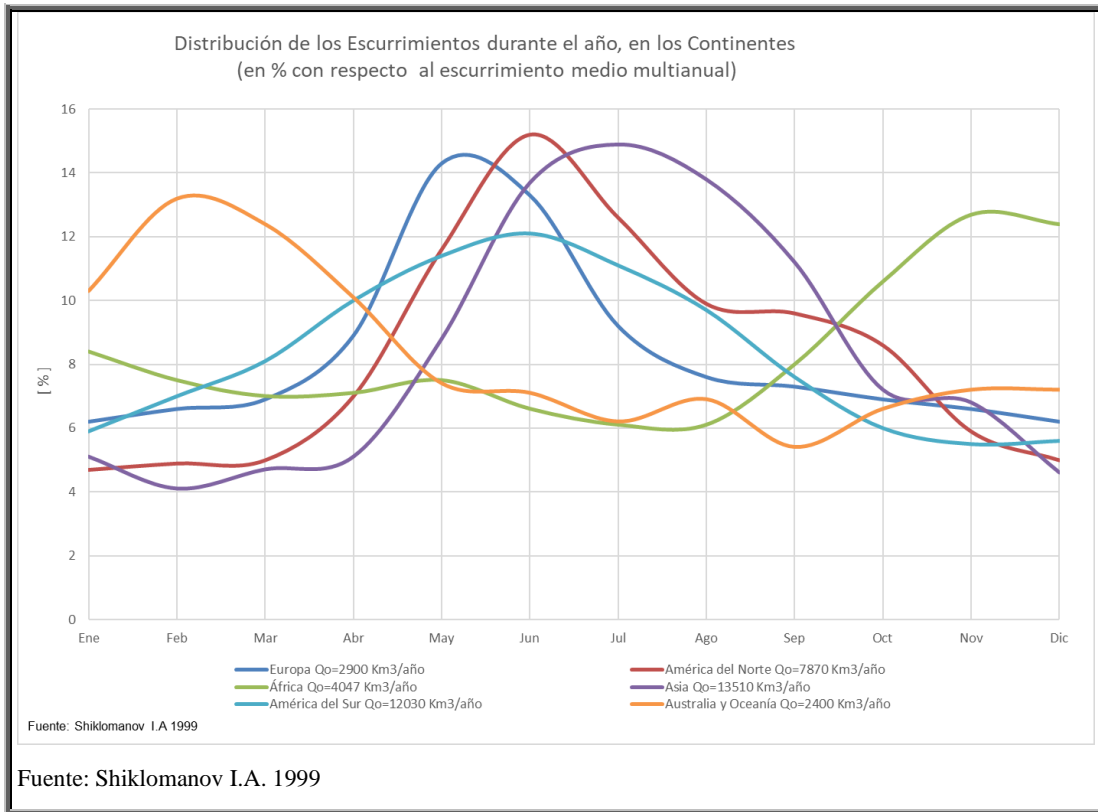


Fuente: World Water Resources and their Use //International Hydrological Programme UNESCO'S intergovernmental cooperative programme in Water Resources <<http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml>>

**Fig. 1.2.2 Recursos hídricos renovables y disponibilidad de agua por Continente**

*En términos geológicos se considera que un período completo del ciclo hidrológico de renovación de agua en los océanos, se estima del orden de 2,500 años, para las nieves eternas y zonas polares es de 10,000 años, para los acuíferos y los glaciares en la zonas montañosas es de 1,500 años, la recarga de agua en los lagos es de 17 años, en los ríos 16 días, en la atmosfera es de 8 días, el manejo de agua es básico para determinar los cambios en las características del agua, como sabemos existen dos concepciones para aprovechar y usar los recursos hídricos de una determinada región hidrológica, estadísticamente el almacenamiento de agua, así como su renovación incluye convencionalmente períodos muy complejos que durante gran cantidad de años, se ha reflejado en el comportamiento de lagos, lagunas, acuíferos, glaciares, etc..*

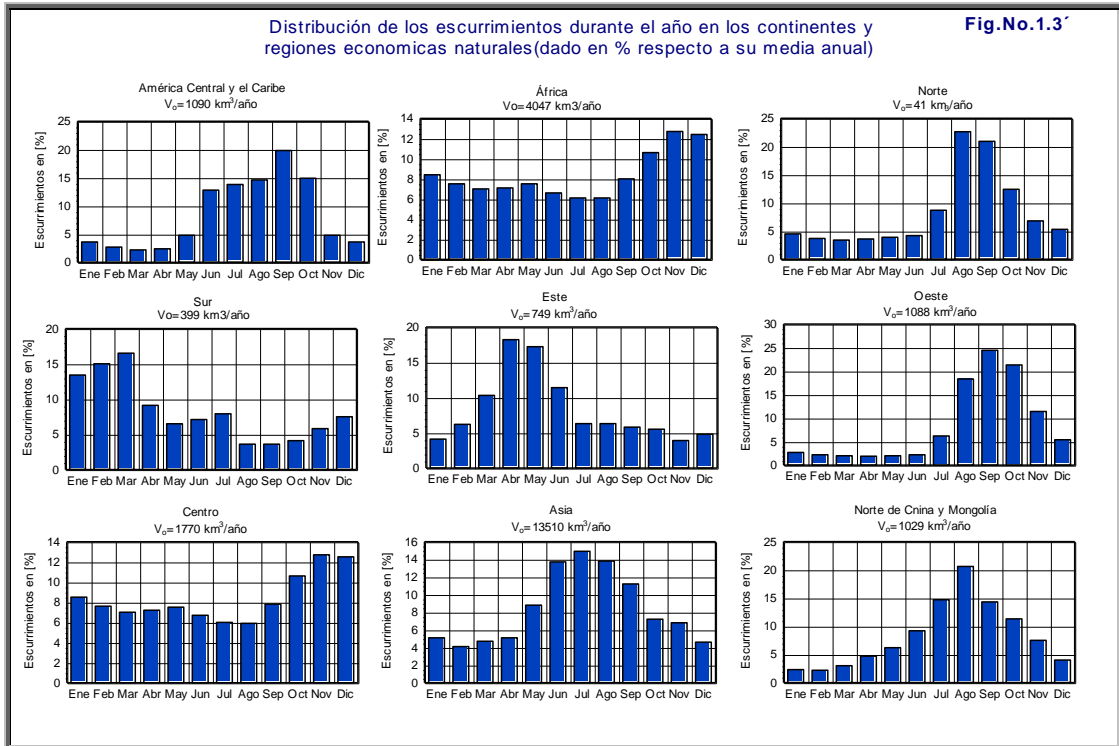
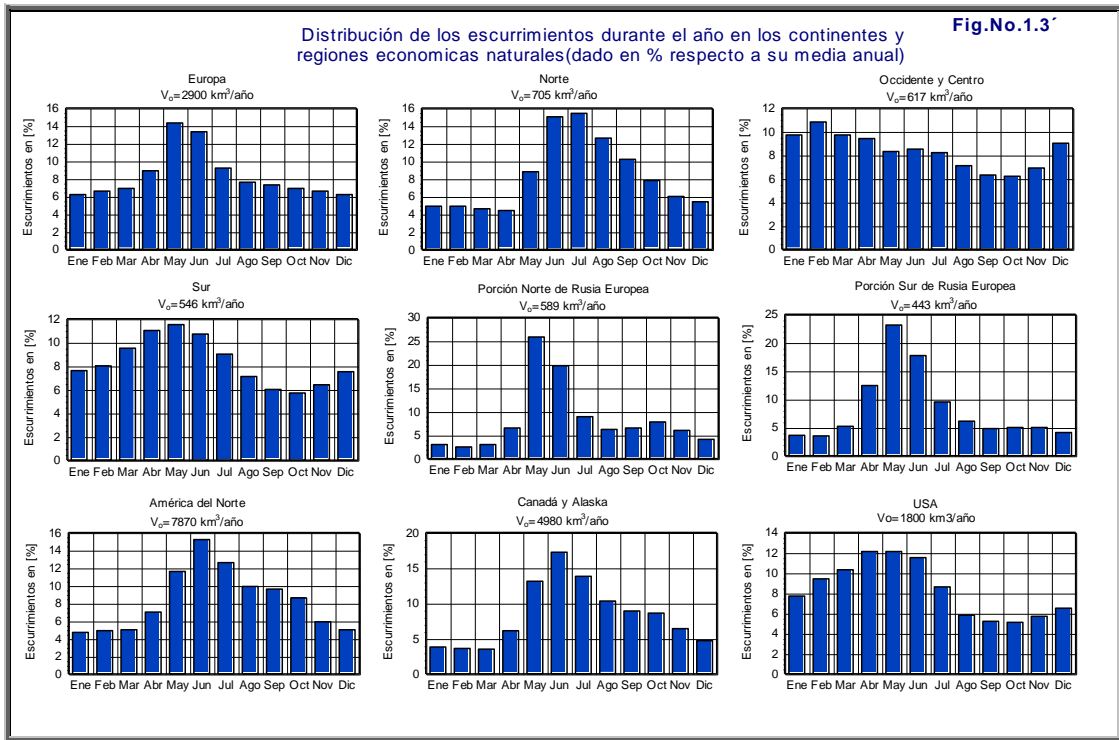
*El uso intensivo de los recursos hídricos ha dado como resultado el agotamiento de muchos cuerpos de agua, está sobre explotación severamente ha afectado los ecosistemas, desequilibrando el balance hidrológico natural en el planeta, el cual se mantuvo estable durante centurias, por lo que se requerirán miles de años para su recuperación.*

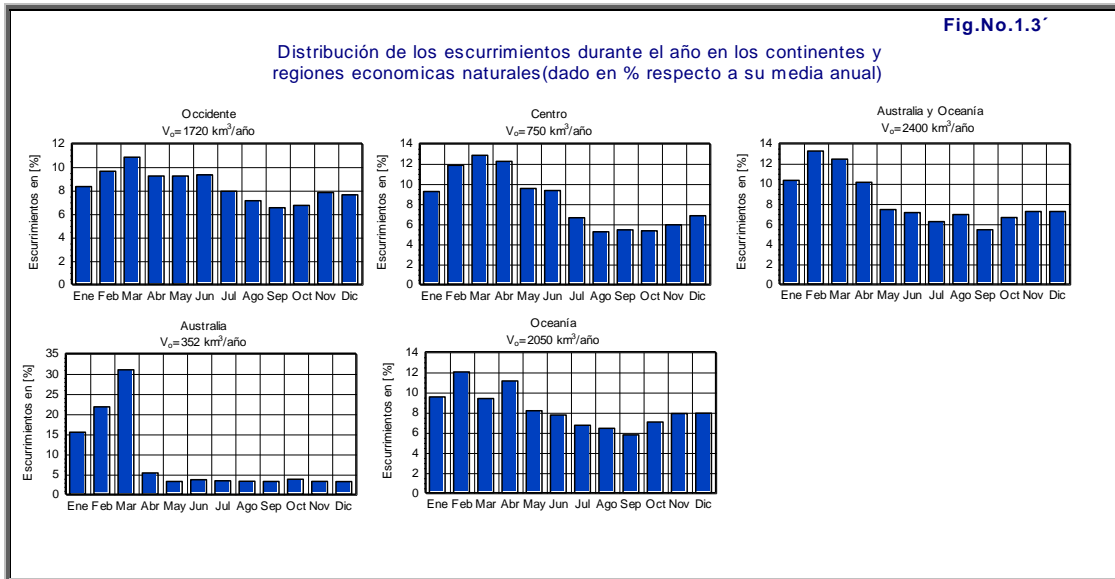
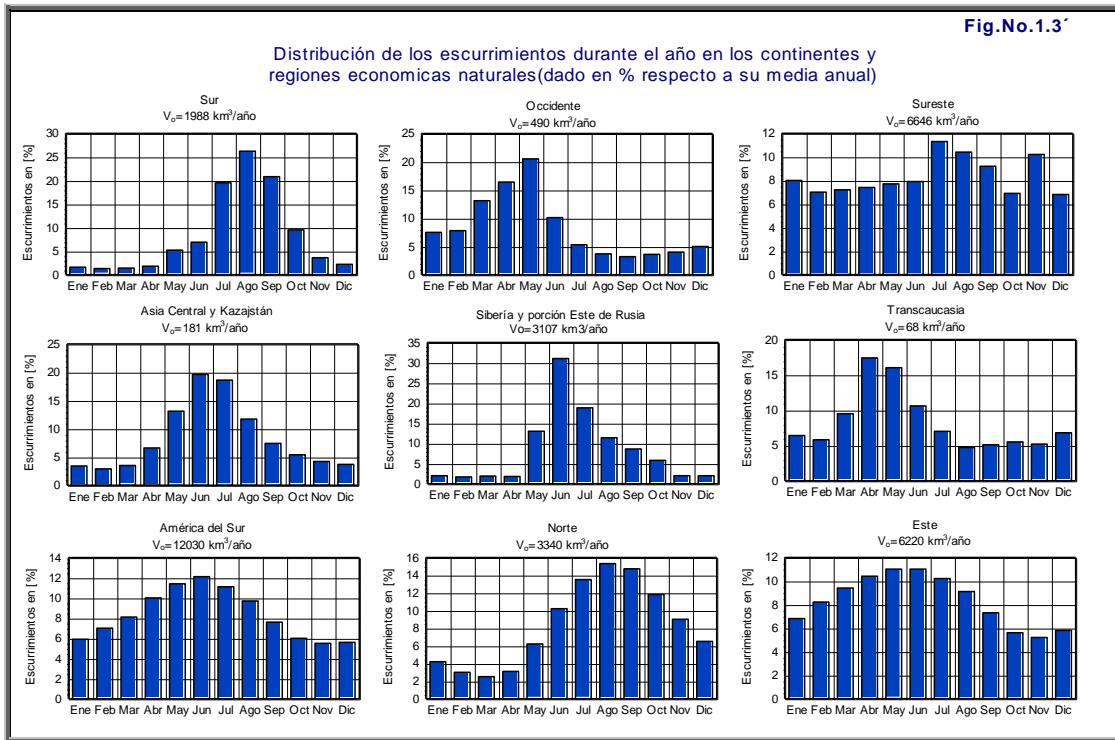


**Fig. No 1.2.3 Distribución de los escurrimientos durante el año por Continente.**

Como sabemos la renovación anual de los recursos hídricos, lleva implícito todo un proceso de ingreso del agua a la Tierra. Este proceso se manifiesta principalmente en la formación de los escurrimientos superficiales de las cuencas hidrológicas, para conocer los volúmenes de intercambio nos referimos a la unidad de tiempo, medidos en [m<sup>3</sup>/s, Km<sup>3</sup>/año, etc.], así como su formación en cada región depende de los usos e ingresos externos (importaciones de una cuenca hidrológica con posibilidades de compartir excedentes, con otra cuenca hidrológica deficitaria, en algún estado o país), incluyendo el agua subterránea que se incorpora a los ríos, así como los recursos hídricos de los acuíferos cuyos escurrimientos descargan directamente al mar. A nivel global los volúmenes de agua no se diferencian por mucho, con respecto a la valoración de los escurrimientos por regiones.

Durante el proceso de renovación de los recursos hídricos debemos considerar también los aspectos cualitativos de estos. Debido a las acciones antropogénicas sobre el medio ambiente, se afectan los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, como sabemos en condiciones naturales los ríos regeneran las aguas que escurren por ellos, cuando la carga de contaminantes no es tan fuerte.





Fuente: World Water Resources and their Use //International Hydrological Programme UNESCO'S intergovernmental cooperative programme in Water Resources < <http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml> >

Los actuales escurrimientos representan una renovación de los recursos hídricos, por lo que son una importante componente del ciclo hidrológico. Los ecologistas manifiestan que los efectos negativos que se ejercen sobre la superficie del planeta, son producto de las actividades humanas, lo cual sería muy vanidoso pensar que el hombre está cambiando el planeta, que tienen algunos efectos eso es innegable, pero de ahí a pensar lo contrario sería muy aventurado afirmar tal situación. En algunas regiones del planeta los escurrimientos superficiales tienen una buena distribución espacial, permitiendo cubrir las demandas de agua para el uso consuntivo. En la práctica se valora la ocurrencia de los escurrimientos y se calcula la disponibilidad de agua, así

como el déficit recurrente. Considerando su dinámica dentro de un período a otro y su distribución espacial a escala global, en el análisis se toman en cuenta diversos tipos de demandas de agua, que se manejan en las actividades hidroeconómicas actuales y futuras.

## **2.- Efectos antropogénicos en los cambios climáticos y los recursos hídricos.**

### **2.1.- Renovación de los recursos hídricos y su variabilidad espacial y temporal.**

#### **2.1.1.- Información inicial y enfoques metodológicos.**

Las características cuantitativas de la renovación de los recursos hídricos en las regiones y cuencas hidrológicas, puede ser determinada con dos enfoques metodológicos: El primero se refiere a la información de registros meteorológicos e hidrométricos en las cuencas hidrológicas. Este enfoque metodológico, es ampliamente difundido, en la práctica usualmente se realizan cálculos, empleando ecuaciones sencillas para el balance hidrológico a largo plazo en los continentes. De acuerdo con estas ecuaciones se calcula el valor promedio de renovación de los recursos hídricos, para períodos muy amplios determinamos la diferencia entre la evaporación y la precipitación en los continentes. La precipitación se calcula en base a la información recopilada, en la red de estaciones climatológicas e hidrométricas, a través de diversas fórmulas. Esta estimación técnica tan simple, se maneja en muchos países.

El método para estimar la renovación de los recursos hídricos a partir de la información hidrometeorológica, también es muy sencillo por lo que, en parte, representa una desventaja ante otros métodos. No es recomendable su utilización en cálculos muy detallados, principalmente en aquellos países y regiones con recursos hídricos limitados. Debido principalmente a la poca exactitud de esta técnica, por lo que es prácticamente inaplicable en regiones áridas y semiáridas, donde los escurrimientos superficiales son muy pequeños. Los valores absolutos encierran errores, cuando procedemos a determinar la evaporación y la precipitación. La segunda metodología, prácticamente es imposible su aplicación, si requerimos estimaciones más realistas sobre los recursos hídricos para cada uno de los años (además de calcular por estaciones del año y en forma mensual). El tercer método es inaplicable técnicamente para evaluar los recursos hídricos de los países y regiones que se encuentran en cuencas hidrológicas con ríos internacionales. En estos casos nos referimos a los volúmenes de escurrimientos que provienen del exterior (importaciones).

Los recursos hídricos globales estimados (provenientes de los continentes, regiones y países, se calculan bajo sus condiciones fisiográficas específicas), están basados en registros históricos provenientes de boletines hidrológicos de diversos países del planeta, así como de información de los Servicios Meteorológicos de cada país y sus representaciones. Las evaluaciones de los recursos hídricos en su momento fueron realizadas por muchos científicos, destacando la escuela Rusa de Hidrólogos de los años, sesentas, setentas y ochentas Lvovich M.I., Kalinin G.P., Andrianov , Voropaev G.V., Sokolov , Klige R.K, Shiklomanov I.A., entre muchos otros en diversas épocas han elaborado diversas monografías sobre el "Balance Hídrico en el Planeta y los Recursos Hídricos en la Tierra", desde ese entonces se han recopilado gran cantidad de registros históricos y observaciones hidrológicas, que en otros tiempos no hubiese sido posible obtener tanta información de los continentes, debido a que en muchos países, se tenía una deficiente cobertura de información hidrometeorológica, por tanto actualmente tenemos mayores posibilidades de aplicar estas metodologías.

Para alcanzar los resultados que aquí se presentan, fueron tomados del análisis realizado por diversos científicos, principalmente por los trabajos de Klige R.K., Vendrov S.L. y Shiklomanov I.A. y su grupo de colaboradores, además estos científicos en su momento cuando efectuaron el análisis fue soportado con información validada por la O.M.M., en base a 64,000 estaciones hidroclimatológicas distribuidas en el planeta, también hay que mencionar que esta distribución en los continentes es muy desigual. La cantidad de años de observación es muy variable, desde unos cuantos meses hasta más de 180 años de registro, debido a que no se cuenta con información homogénea y sistemática, fueron seleccionados aquellos países, donde cuentan con mayor

información hidroclimatológica de las principales corrientes superficiales y que cumplieron con las siguientes condiciones.

- a) Viabilidad de los registros históricos con el mayor número de años de observación.
- b) Cuentan con información de ríos medianos y grandes de cada país seleccionado, de tal manera que se puede efectuar un buen análisis de distribución.
- c) Los registros deben reflejar el comportamiento y régimen natural de los ríos.

### 2.1.2.- Regiones económicas de los continentes.

El valor medio de la renovación de los recursos hídricos en el planeta, se estima en 42,785 Km<sup>3</sup>/año, que como sabemos su distribución espacial y temporal es muy variable, (Ver Fig. No 1.2.3 y 1.3) donde se aprecia el proceso de renovación de los recursos hídricos y la disponibilidad de agua en los continentes. También podemos observar que a pesar de contar con bajos escurrimientos en Australia y Oceanía, donde son del orden de 2,404 Km<sup>3</sup>/año, su población es de 66.59 millones de habitantes, la disponibilidad por habitante es muy alta 66,592 m<sup>3</sup>/año, por otro lado la disponibilidad por habitante en el continente Asiático, es muy baja 3,260 m<sup>3</sup>/año, no obstante que los mayores escurrimientos se encuentran en el continente Asiático con 13,510 Km<sup>3</sup>/año y en América del Sur 12,030 Km<sup>3</sup>/año, los escurrimientos máximos presentados coinciden en los continentes mencionados 15,008 Km<sup>3</sup>/año y 14,350 Km<sup>3</sup>/año, respectivamente. La mayor cantidad de habitantes al año 2010, se registra en el continente asiático con 4,140.33 millones de habitantes, que representa el 60.8% del planeta, seguido por el continente africano con 994.53 millones de habitantes y representa el 14.6%, y etc.

La variabilidad de los escurrimientos en la mayoría de los ríos en los continentes, tal como se muestra en la (Fig. No 1.2.3), donde se dan los valores en forma mensual y en porcentaje con respecto a los escurrimientos anuales.

Los registros históricos de los escurrimientos datan de 1940 a la fecha, por lo cual podemos observar el comportamiento y distribución anual promedio de las series históricas, en base a esta información se elaboró la (Fig. No 2.1). Esta distribución en los ríos es muy desigual, marcándose los períodos de grandes escurrimientos y severos estiajes. La distribución de los escurrimientos en Europa corresponde al 36.5%, y sus escurrimientos se generan durante los meses de abril a junio, en Asia el 60.8% se presentan de junio a octubre, en África el 52% de mayo a agosto, en América del Sur el 44% de abril a junio, en Australia y Oceanía el 47% de enero a abril y en América del norte el 67.5% se presentan de mayo a octubre.

De acuerdo a modernas estimaciones, para poder tener una buena distribución de los escurrimientos durante el año, se ha requerido de la construcción de presas de diversos tipos y características. Lo más importante en cuanto al uso, manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos, es poder contar con un escurrimiento estable, las variaciones por lo general tienen diversos períodos de duración, desde unos cuantos años y de un año a otro, por lo anterior se requiere la realización de obras hidráulicas para la regulación de los escurrimientos. En términos numéricos estamos hablando de un 37% de los escurrimientos a nivel global, es decir 16,000 Km<sup>3</sup>/anuales.

Para diversos propósitos de análisis, se han subdividido los continentes en 26 grandes regiones hidroeconómicas (mezo regiones), donde se cuenta con condiciones fisiográficas homogéneas, así como con otras regiones con características similares. (Ver Fig. No 2.1 y 2.2).

Año con año en las regiones hidroeconómicas mencionadas los recursos hídricos varían significativamente y en promedio estas variaciones pueden ser de consideración en algunos continentes, especialmente esto ocurre en aquellas regiones áridas y semiáridas, donde el volumen de escurrimiento es muy bajo. En algunos años pueden ser de 1.5 a 2 puntos porcentuales, contrariamente a lo que ocurre en donde podemos contar con largos períodos de observaciones, cuyas diferencias entre sí son de un 15 a un 25 %.

*Las posibilidades del uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en las regiones hidroeconómicas, requieren de la determinación de los escurrimientos año con año, por temporadas del año, mensual y en forma quincenal para conocer su variación y disponibilidad.*



Como sabemos, en muchas regiones las características de los escurrimientos en cuanto a su distribución son muy extrema. Los escurrimientos se presentan en forma temporal en 3 o 4 meses del año, escurren el 60% o 80%. Estas características las podemos observar en Europa durante tres meses escurre el 64% con respecto al escurrimiento anual; en América del norte y centro América, así como en el sur de Asia escurre el 57%; en Siberia en su porción este escurre el 59%; en Australia escurre el 68% y en el oeste de África central escurre el 80%.

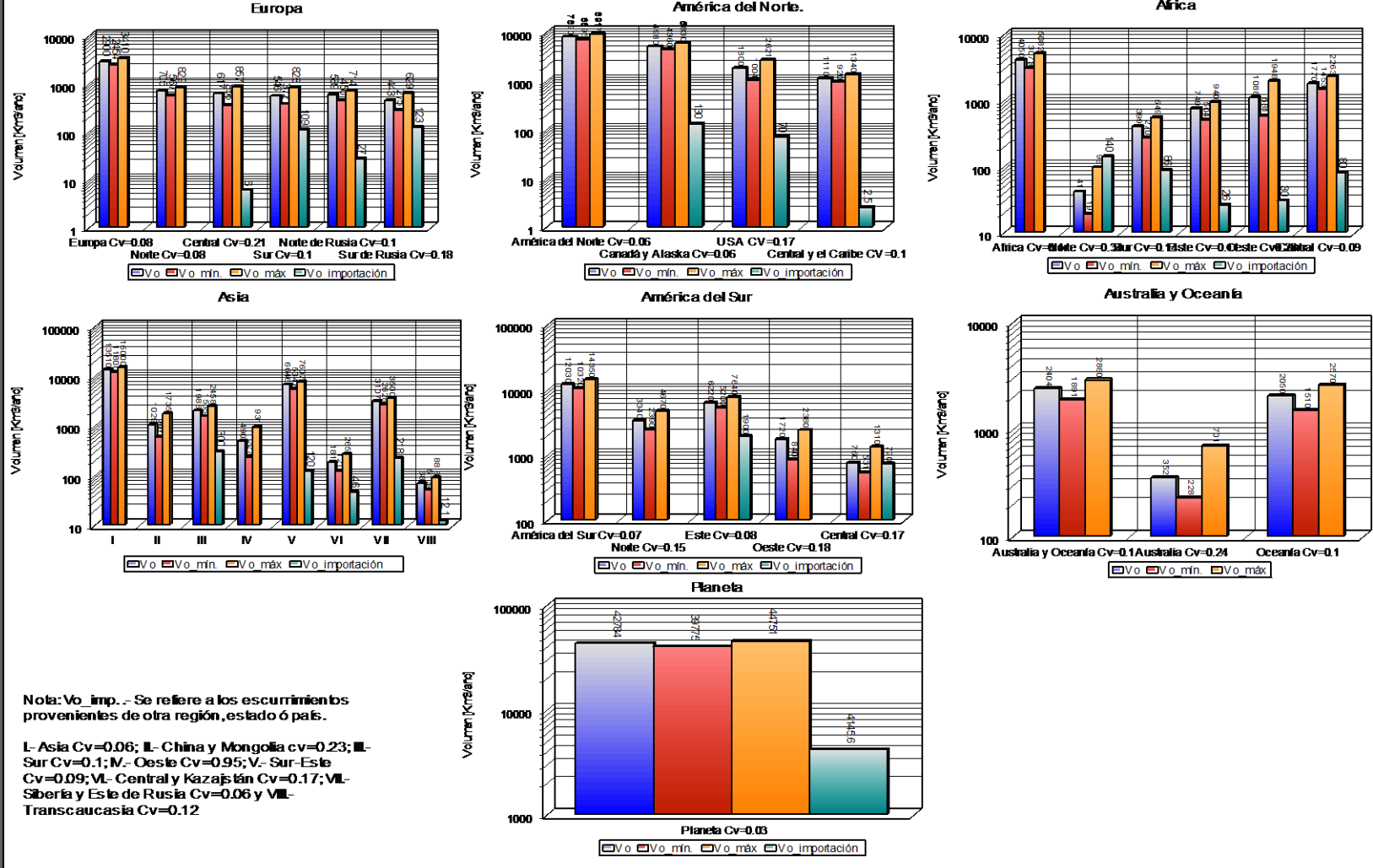
Al mismo tiempo los bajos escurrimientos también se presentan en un lapso de tiempo de tres a cuatro meses del año, en algunas regiones los escurrimientos representan únicamente del 2 al 10%, del escurrimiento anual. Lo anterior se puede observar para Europa, donde los bajos escurrimientos se extienden hasta, el norte de China y Mongolia variando del 8 al 9%. En América Central y Siberia en su porción este y en el sur de Asia y África central representa 0.8%.

Adicionalmente para las regiones económicas la renovación de los recursos, en los 50 países seleccionados, se describe la superficie de estos países, la cantidad de habitantes en ellos, sus recursos hídricos expresados en Km<sup>3</sup> por año, las propiedades de estas cuencas hidrológicas, así como las importaciones de sus escurrimientos, es decir escurrimientos provenientes de cuencas hidrológicas compartidas entre naciones o regiones, como observamos las grandes renovaciones de recursos hídricos, se concentran en los siguientes países del mundo: Brasil, Rusia, Canadá, Estados Unidos en la india donde se renuevan más del 40% de los escurrimientos anuales (**ver Fig. No 2.3 (a, b, c, d, e) y 2.3(A, B)**).



### Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en las regiones hidroeconómicas del planeta. "Escumientos"

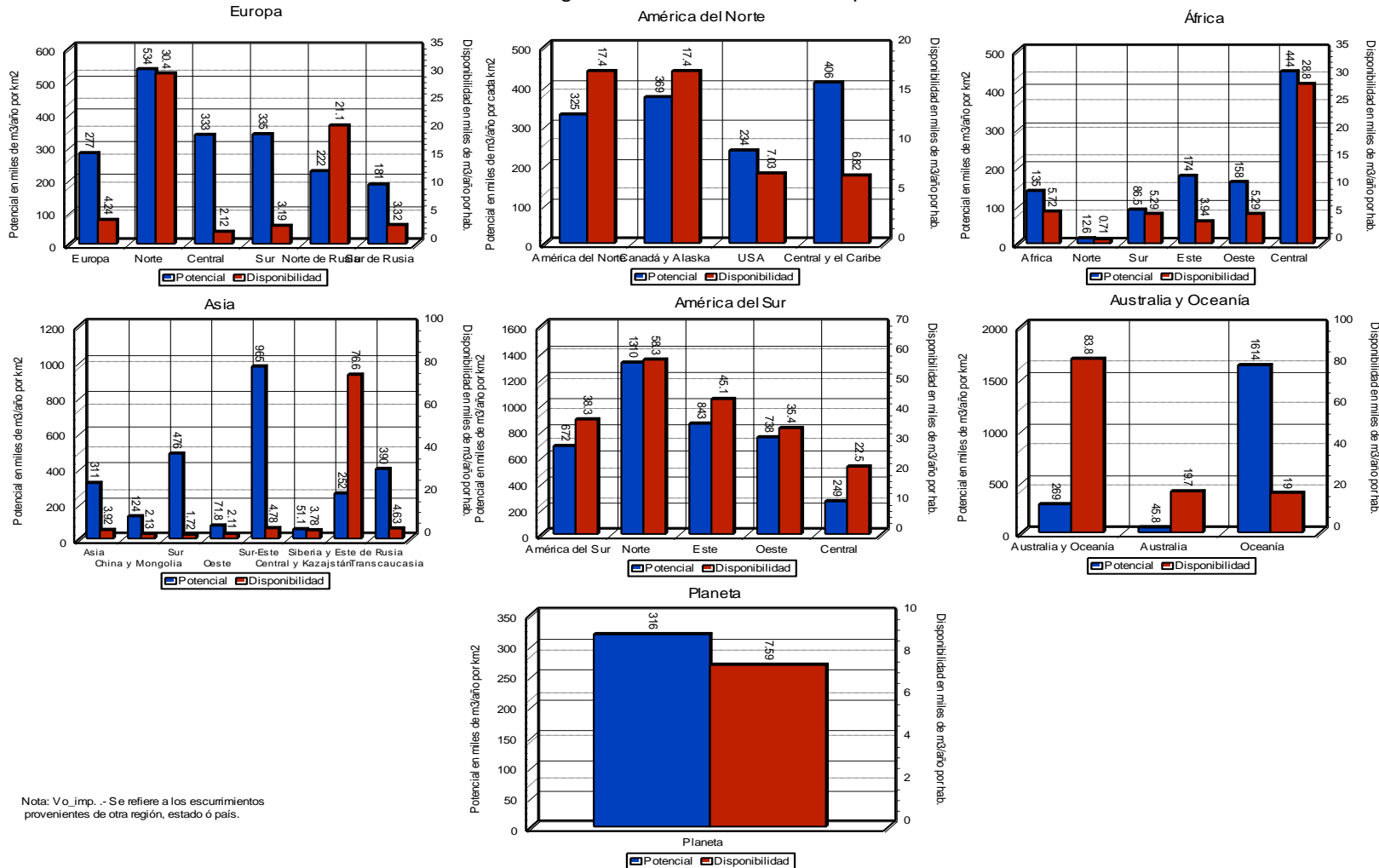
Fig. No 2.1



Fuente: World Water Resources and their Use //International Hydrological Programme UNESCO'S intergovernmental cooperative programme in Water Resources <<http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml>>

Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en las regiones hidroeconómicas del planeta.

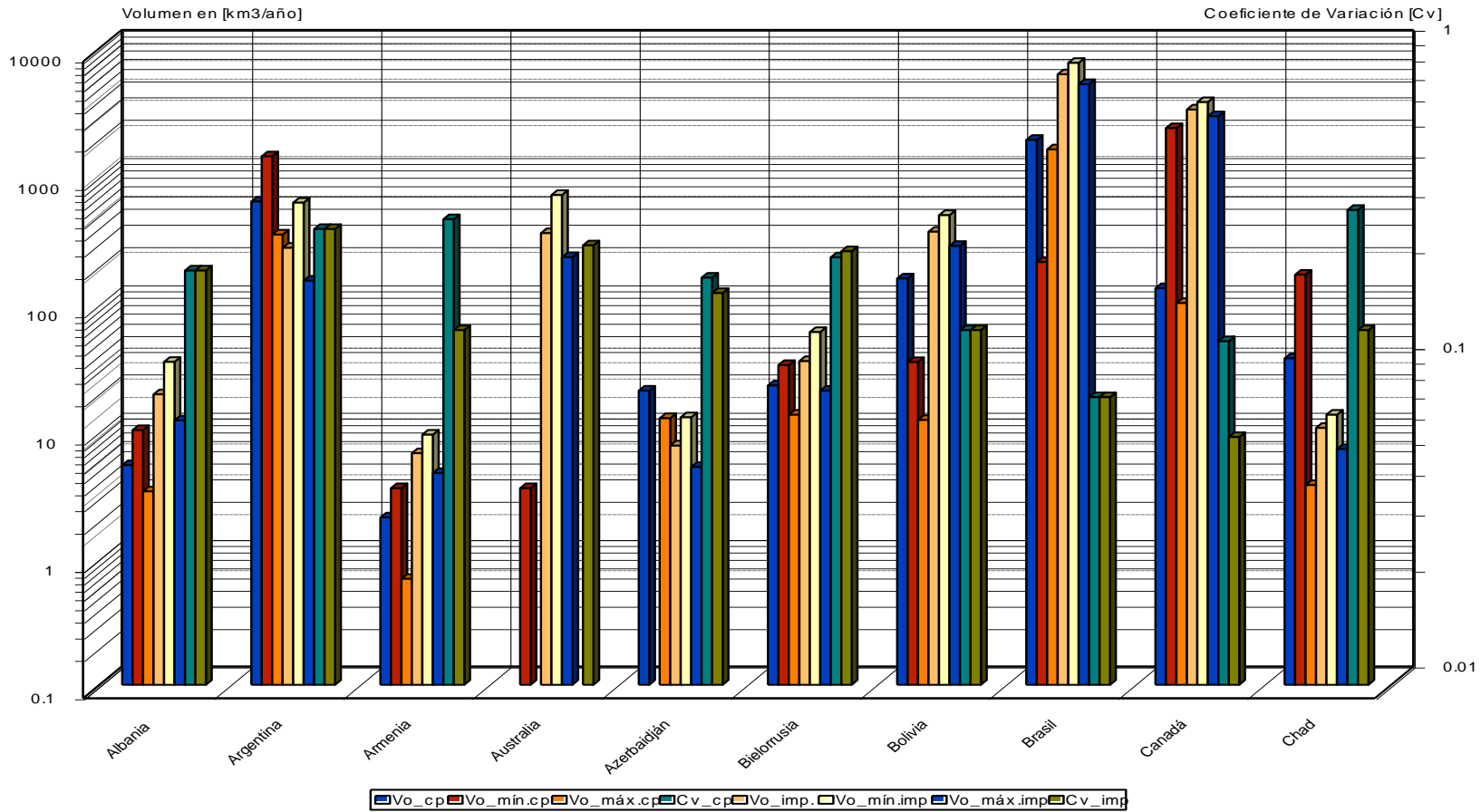
Fig. No 2.2



Fuente: World Water Resources and their Use //International Hydrological Programme UNESCO'S intergovernmental cooperative programme in Water Resources <<http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml>>

**Fig. No. 2.3a**

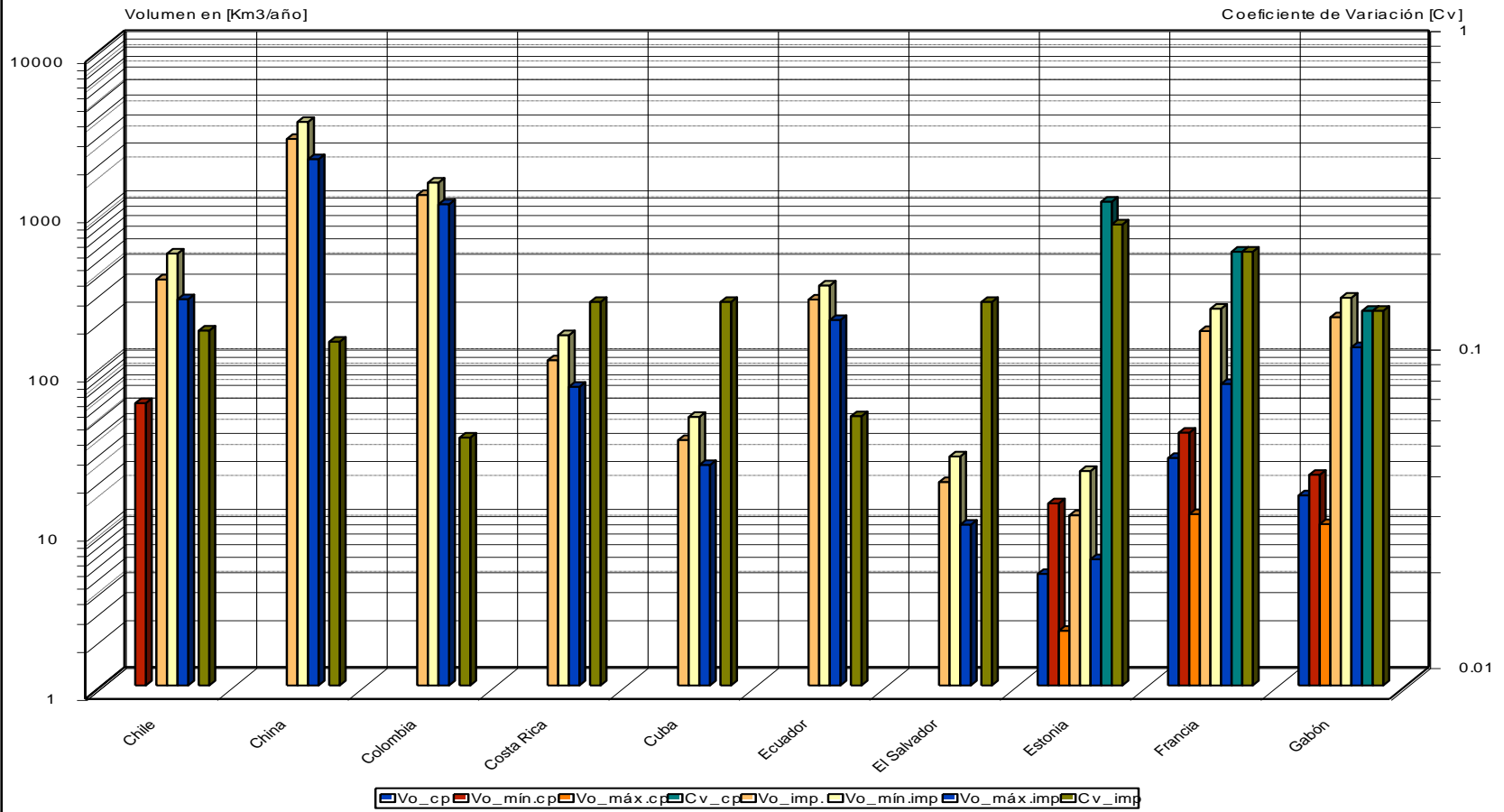
**Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en países representativos del planeta.**



Nota: Vo\_imp., Vo\_min.imp., Vo\_máx.imp., Cv\_imp. - Se refiere a los escurrimientos provenientes de una cuenca hidrológica compartida con otra región, estado ó país.

**Fig. No. 2.3b**

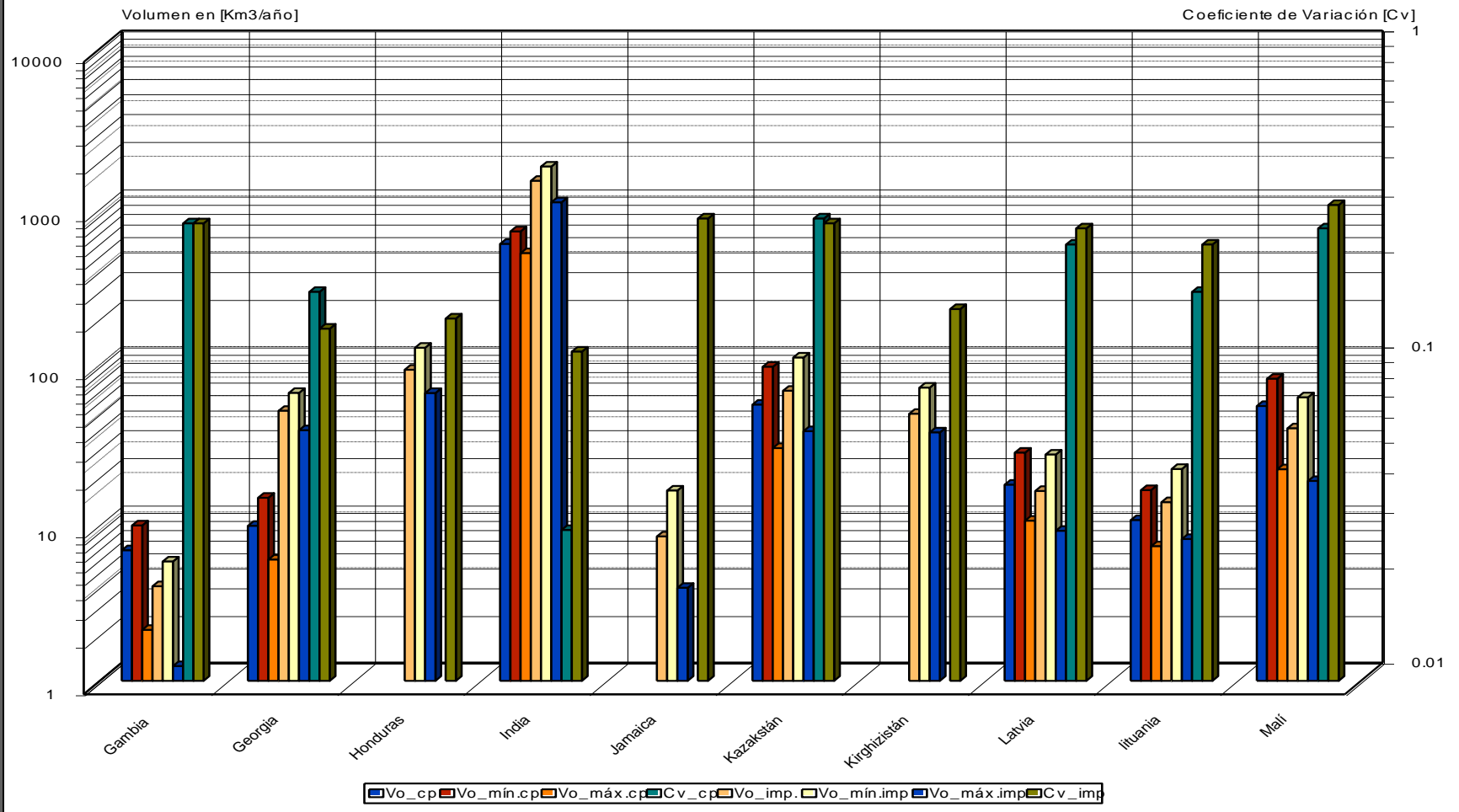
Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en países representativos del planeta.



Nota: Vo\_imp., Vo\_min.imp., Vo\_max.imp., Cv\_imp.- Se refiere a los escurrimientos provenientes de una cuenca hidrológica compartida con otra región, estado ó país.

**Fig. No. 2.3c**

**Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en países representativos del planeta.**

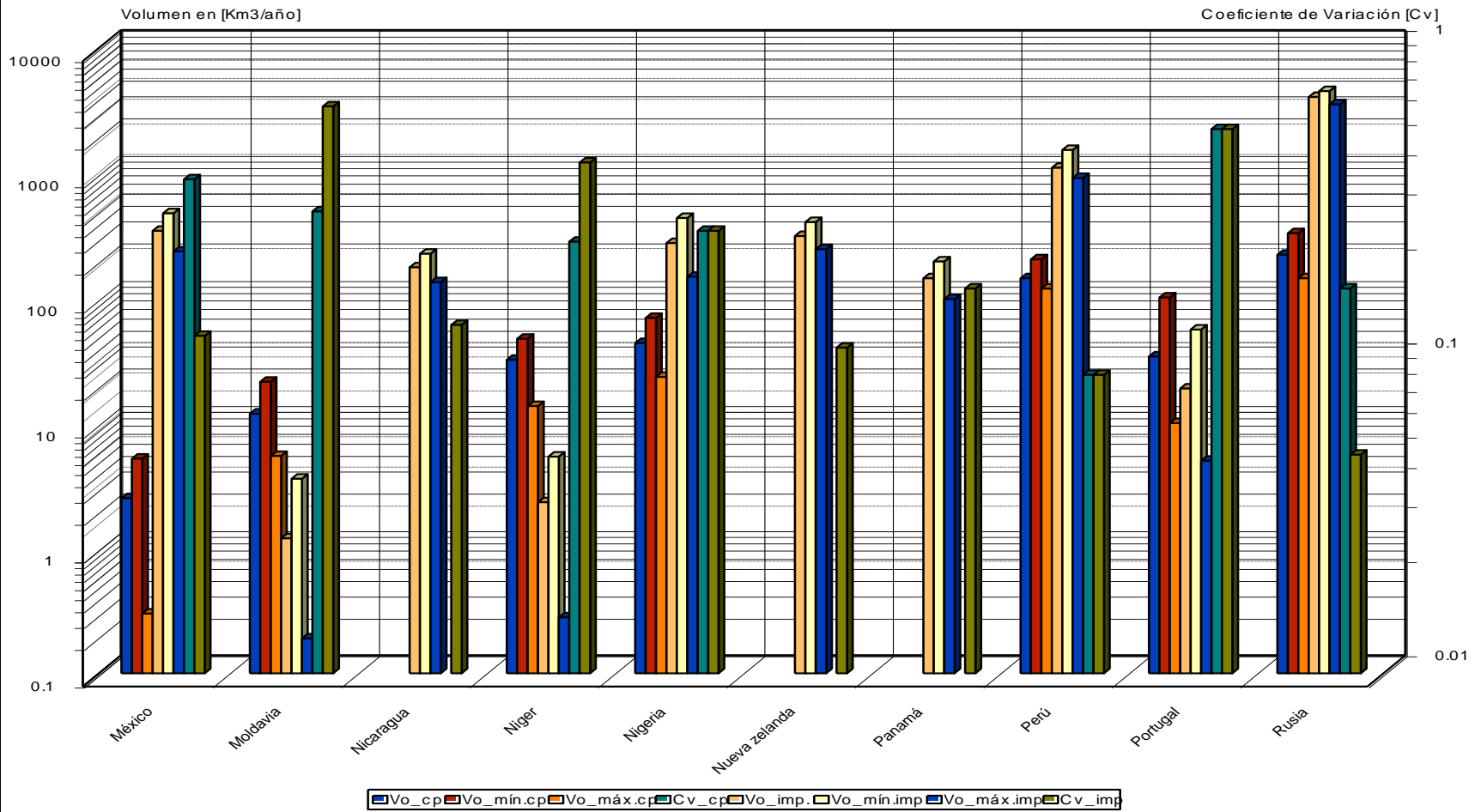


Nota: Vo\_imp., Vo\_mín.imp., Vo\_máx.imp., Cv\_imp. - Se refiere a los escurrimientos provenientes de una cuenca hidrológica compartida con otra región, estado ó país.

Fuente: World Water Resources and their Use //International Hydrological Programme UNESCO'S intergovernmental cooperative programme in Water Resources <<http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml>>

**Fig. No. 2.3d**

Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en países representativos del planeta.

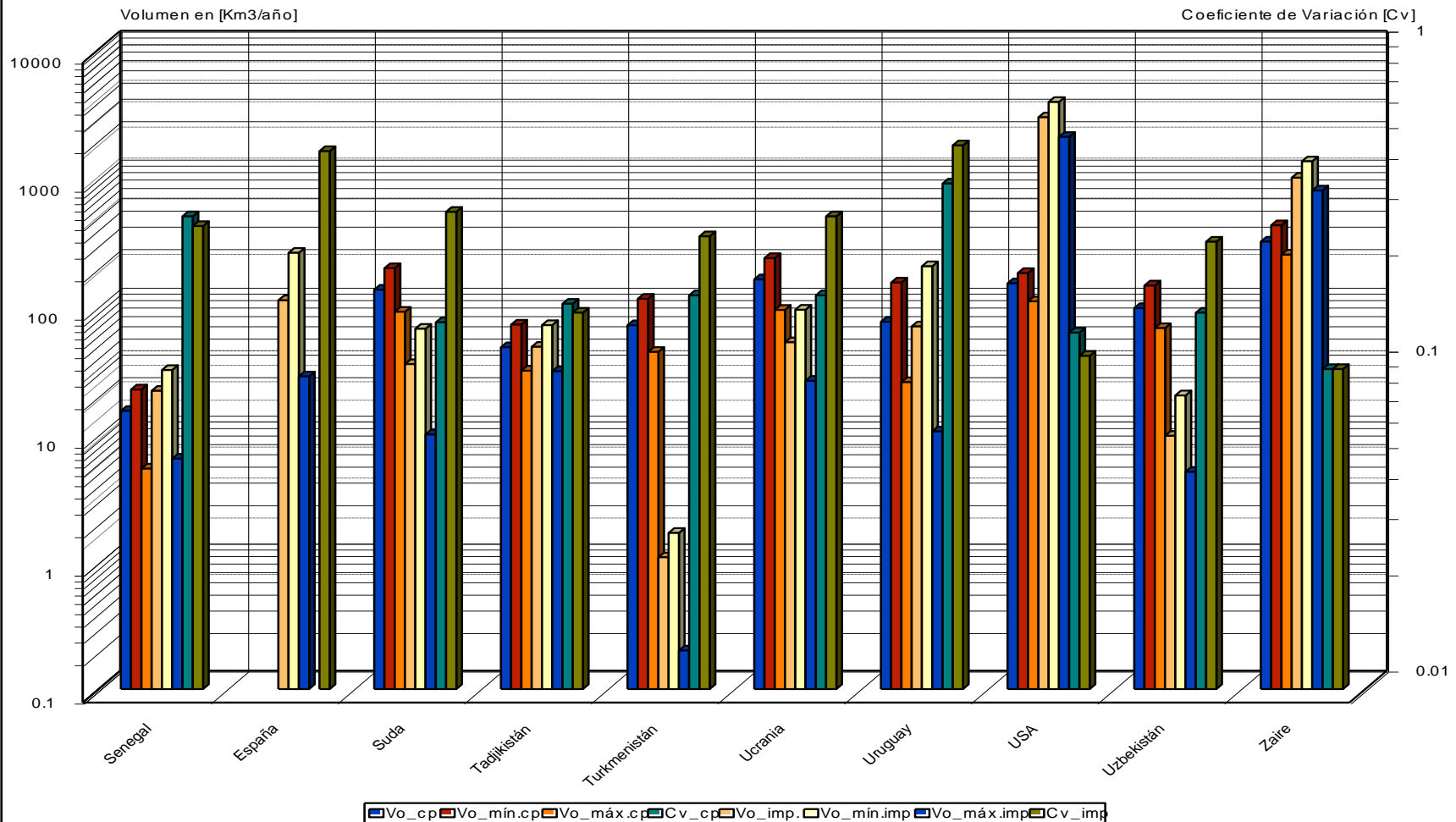


Nota: Vo\_imp., Vo\_min\_imp., Vo\_máx\_imp., Cv\_imp. - Se refiere a los escurrimientos provenientes de una cuenca hidrológica compartida con otra región, estado ó país.



**Fig. No. 2.3e**

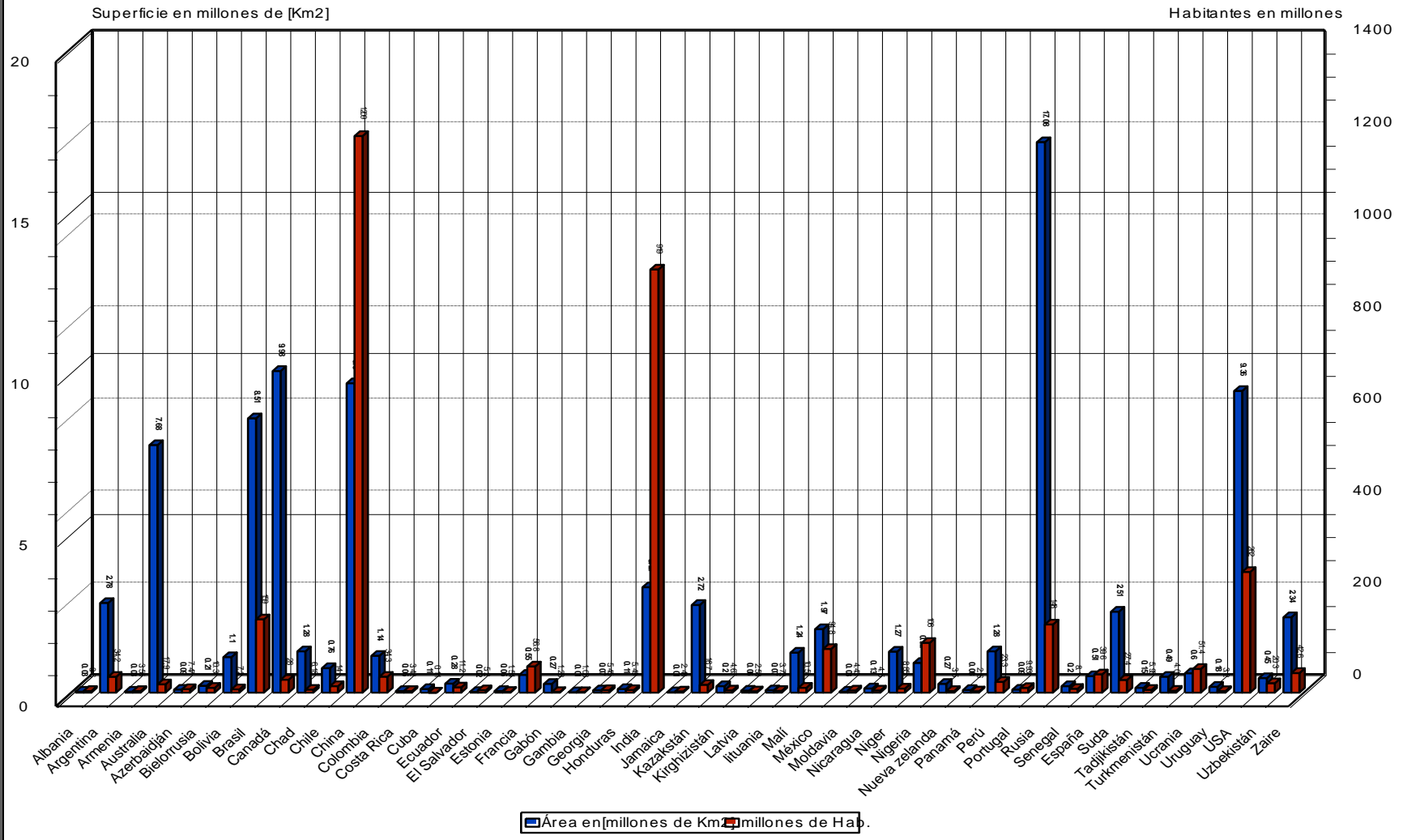
**Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en países representativos del planeta.**



Nota: Vo\_imp., Vo\_min.imp., Vo\_máx.imp., Cv\_imp.- Se refiere a los escurrimientos provenientes de una cuenca hidrológica compartida con otra región, estado ó país.

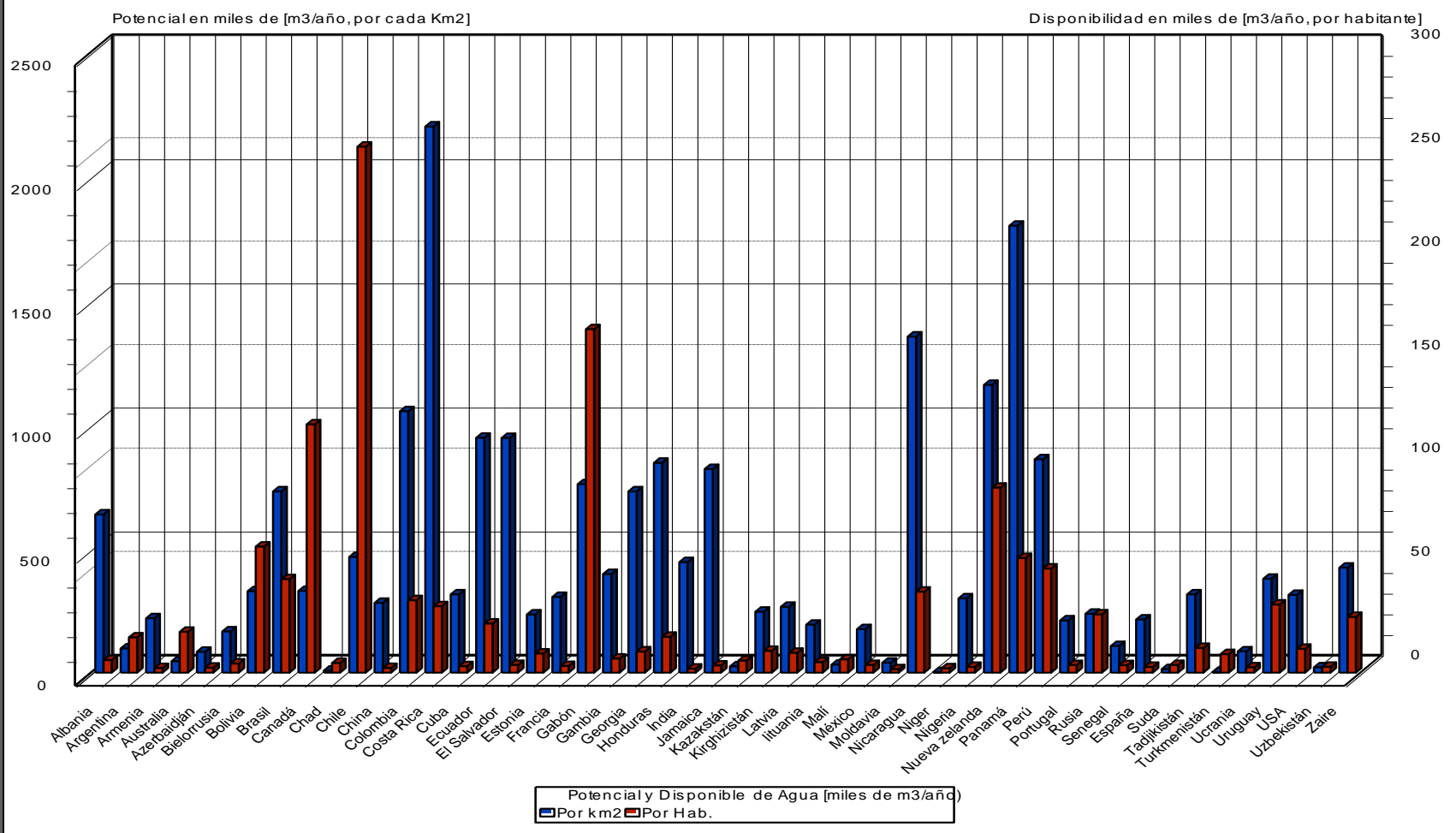
Fig. No. 2.3A

Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en países representativos del planeta (superficie y habitantes).



Renovación de los recursos hídricos y potencial de agua disponible en países representativos del planeta.

Fig. No.2.3B



Fuente: World Water Resources and their Use //International Hydrological Programme UNESCO'S intergovernmental cooperative programme in Water Resources <<http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml>>

### **2.1.3.- Los ríos más importantes del planeta.**

La determinación de la renovación de los recursos hídricos para los países, regiones y continentes, es fundamental durante el cálculo de los escurrimientos en las cuencas hidrológicas. (Fig. No 1), se presentan las características de los principales ríos del planeta. El mayor río en el planeta cuyo escurrimiento medio multianual, corresponde al río Amazonas con 6,923 Km<sup>3</sup> /año, con un área de cuenca de 6,915 Km<sup>2</sup>, que representa el 16% de los escurrimientos en el planeta. Por otro lado, el 27% de los recursos hídricos del planeta lo representan los siguientes sistemas hidrológicos: Amazonas, Ganges conjuntamente con el Brahmaputra, Congo, Yang Tse Kiang y Orinoco. Estos ríos se muestran en la (Fig. No. 1.1). En la Fig. No.2.4, se muestran los grandes ríos de México, donde destacan los sistemas hidrológicos de los ríos Usumacinta y Grijalva con 72.41 Km<sup>3</sup>/año, entre otros.

Durante la simulación de los procesos dinámicos en los océanos, es muy importante tomar en cuenta también la distribución de estos escurrimientos como ingresan a los océanos. Como sabemos estos escurrimientos se incorporan a los océanos en forma desigual, presentándose las mayores descargas de estos en la franja Ecuatorial.

### **2.1.4.- Escurrimientos superficiales y subterráneos.**

Las estimaciones respecto a la renovación de los recursos hídricos y la disminución de los escurrimientos, requiere conocer el comportamiento de los escurrimientos. Por lo anterior, del análisis de los hidrógramas de las avenidas, los deshielos, así como la recarga de acuíferos, observamos que parte de la recarga se incorpora directamente a los océanos, mares, cuerpos de aguas superficiales y otra parte se evapora. En este caso la determinación de los recursos hídricos renovables, únicamente se determina a partir de los escurrimientos superficiales, para no sobrestimar los resultados.

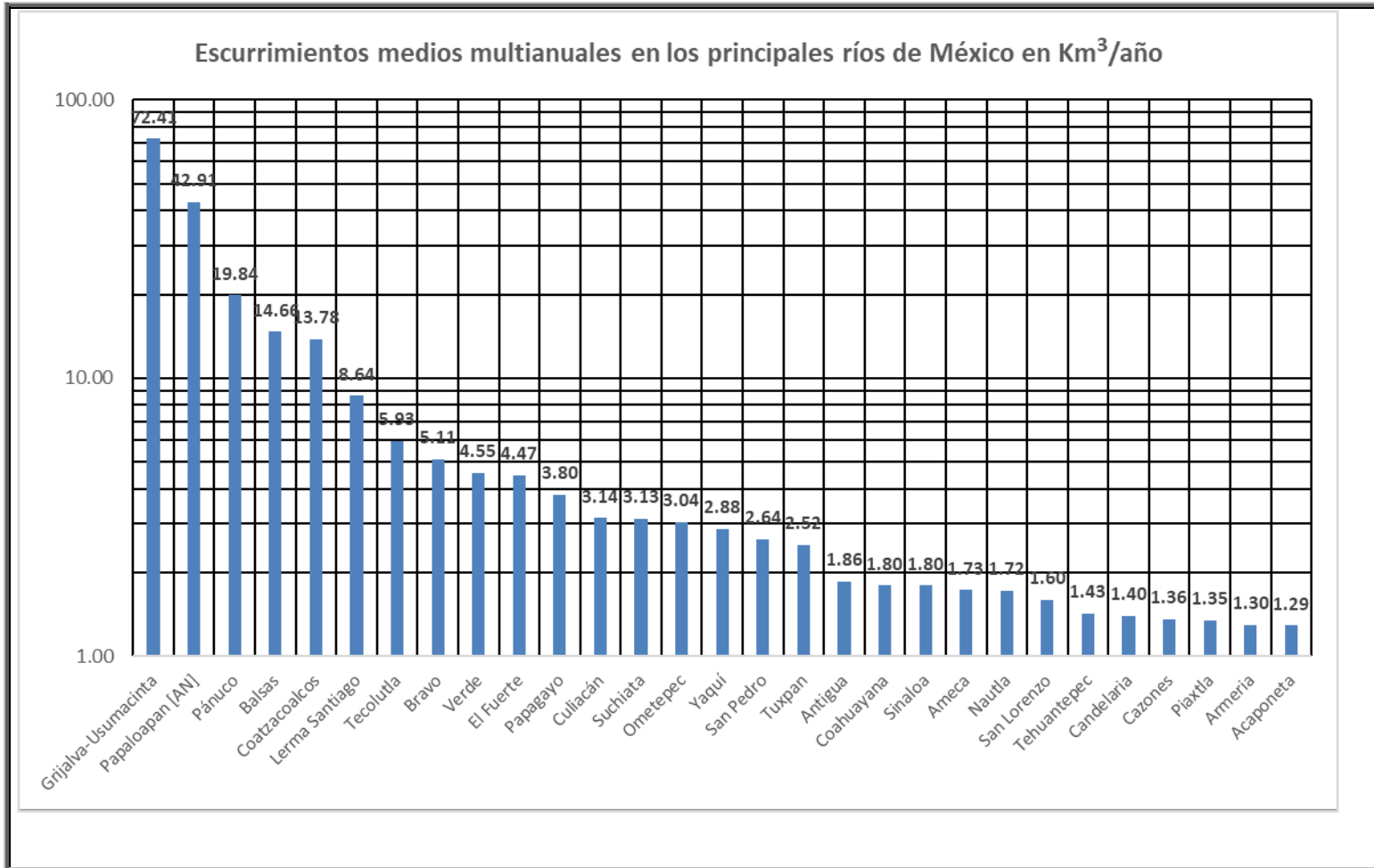
Como sabemos los resultados mucho dependen de la confiabilidad de la información con que se cuenta. En la práctica para determinar los recursos hídricos subterráneos para todas las regiones, resulta muy complejo valorar la recarga, debido principalmente a la falta de información. Como sabemos prácticamente no se cuenta con redes de medición de las aguas subterráneas.

#### **2.1.4.1.- Usos del agua**

##### **Antecedentes.**

En la actualidad la disponibilidad de agua resulta insuficiente, para muchas regiones del planeta, debido principalmente a varios factores, las variaciones de los escurrimientos como es el caso de México (Ver Fig. No2.4), las actividades humanas, la deforestación, pérdida de suelos, así como el comportamiento cualitativo y cuantitativo de los escurrimientos, respecto a la renovación de los recursos hídricos, debido a lo anterior el desarrollo industrial, agrícola y suministro de agua a centros de población, favoreció un drástico incremento en el uso consuntivo del agua, así como la transformación del uso del suelo en el planeta.

Las diversas presiones que se ejercen sobre la renovación de los recursos hídricos en las cuencas hidrológicas, de las regiones económicas del planeta, son muy diversas y motivadas por una serie de factores antropogénicos. Lo anterior se refiere a los usos del agua en las actividades agrícolas, industriales y domésticas. La construcción de un sinnúmero de almacenamientos artificiales, de usos múltiples (control de avenidas, generación de energía hidroeléctrica, agua potable, riego y otros), la transformación de los suelos por la intensiva deforestación y cambios del uso del suelo, la urbanización y el drenaje inducido. Todos estos factores actúan en diverso grado sobre los recursos hídricos, su régimen fluvial y la calidad del agua.



Fuente: Elaboración propia

Fig. No. 1.1 Principales ríos de México.



La valoración del papel que juegan los factores antropogénicos, y cómo influyen en los cambios climáticos a nivel global, así como en la renovación de los recursos hídricos en los continentes y en cada una de las regiones hidroeconómicas, es permanente. Los efectos negativos por las acciones antropogénicas tienen mayor efecto en pequeñas cuencas hidrológicas, en las grandes cuencas hidrológicas, estos efectos generalmente, se presentan en la parte central de la cuenca, donde debido a las actividades humanas se promueve un uso indebido de los suelos y el agua, por lo anterior es mucho más complejo el proceso de renovación de los recursos hídricos en las pequeñas cuencas, así como en parte central de las grandes cuencas. Debido a lo anterior se ve incrementada considerablemente la pérdida de humedad en forma de evaporación.

Las estimaciones de los efectos negativos por las acciones antropogénicas sobre los recursos hídricos a nivel global, se ha detectado al efectuar los balances hídricos en los cuerpos de agua superficiales naturales y artificiales. La influencia antropogénica sobre el medio ambiente, provocan la disminución y comportamiento irregular de los escurrimientos superficiales y subterráneos, así como su distribución espacial y temporal. Al intensificarse el uso del agua disminuyen considerablemente las disponibilidades de este recurso en grandes regiones hidrológicas de nuestro planeta.

Los efectos de las actividades antropogénicas, se manifiestan como ya mencionamos en los procesos climáticos, así como en el incremento de la cantidad de bióxido de carbono que se emite a la atmósfera, lo anterior se acelera en algunas regiones del planeta, el efecto invernadero. Un aspecto que nos alerta de este efecto invernadero es el incremento de la temperatura del aire, el incremento de las precipitaciones en algunas regiones, así como la disminución de estas precipitaciones en otras. También hay que mencionar que cualquier cambio global del clima por efecto de las acciones antropogénicas, se puede reflejar en los registros históricos de lluvias y escurrimientos, que son la base para estimar la disponibilidad de los recursos hídricos, su variabilidad y los usos consuntivos del agua. Son materia de un constante estudio y preocupación de la sociedad, así como de los científicos, de cómo prevenir los efectos invernadero, el cambio del clima y cómo evolucionarán en el período 2030 - 2040.

#### **2.1.4.2.- Las tendencias y desarrollo de los principales usos del agua.**

Como sabemos en una gran cantidad de ciudades, el uso y el consumo del agua se incrementaron drásticamente, primeramente, debido a que se han mejorado los sistemas de suministro de agua potable, para servicios domésticos, industriales y otros usos, al mismo tiempo se han incrementado considerablemente los desperdicios de agua, por **la falta de una cultura del manejo y aprovechamiento racional del agua**, esta situación es más crítica en el campo, en las zonas agrícolas. Los requerimientos de agua junto al crecimiento poblacional e industrial, dependen de la disponibilidad de los recursos hídricos. El consumo por habitante al día en algunos países desarrollados, es variable de 300 a 600 litros por habitante al día. A finales del siglo pasado en Europa y América del norte se incrementó el suministro de 500 a 800 litros por habitante al día. Situaciones totalmente contrarias encontramos en los países de África, Asia y América Latina donde el suministro de agua varía de 50 a 100 litros por habitante al día. En algunas regiones del planeta con gran insuficiencia de recursos hídricos el suministro de agua, es muy bajo de 10 a 40 litros por habitante al día.

Respecto al agua para uso industrial en muchos países están tomando medidas muy enérgicas, en cuanto al control de las aguas residuales que generan las industrias, debiendo tratarlas y reutilizarlas aplicando sistemas de tratamiento que eliminen sustancias altamente tóxicas.

Por otro lado, también existe la tendencia en muchos países, el de utilizar sistemas de potabilización y el uso del agua de mar, lo anterior permitirá disminuir el uso y consumo de importantes volúmenes de agua dulce, para destinar estas aguas liberadas a usos mucho más importantes.

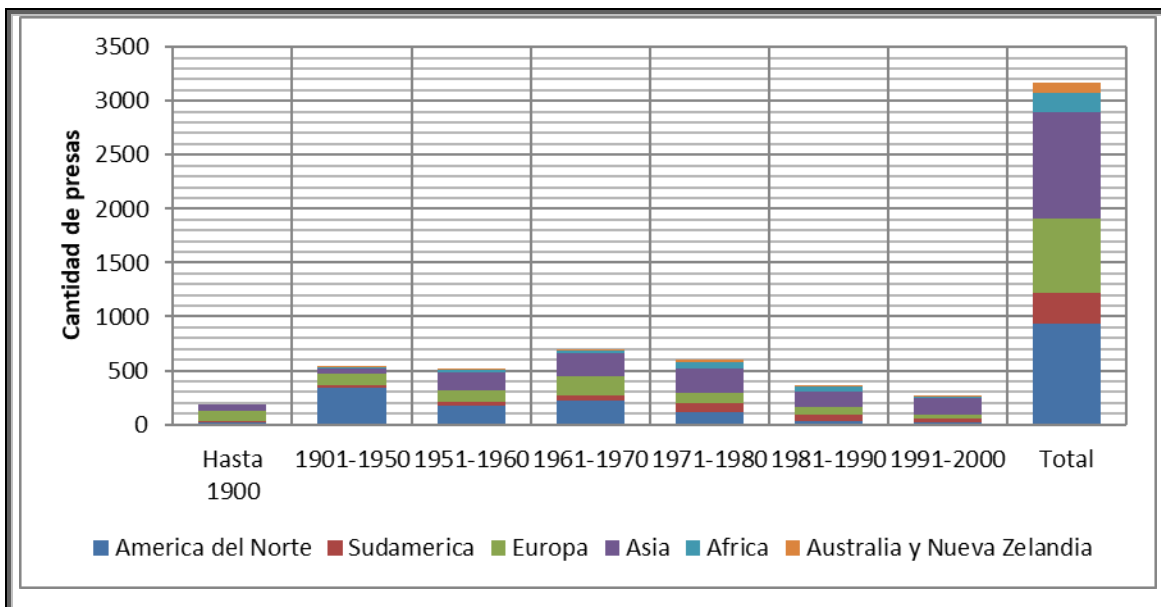
No cabe duda que deberá fomentarse e inducirse el reuso del agua en casi todas las actividades hidroeconómicas, estas medidas sin lugar a dudas beneficiarán la recuperación de importantes volúmenes de agua en cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, en cada país, región y cuenca hidrológica.

En cuanto al uso del agua para el riego de cultivos, la demanda de agua es abrumadoramente muy grande, el incremento poblacional en los continentes, nos está demandando mayores volúmenes de alimentos, por tanto, se incrementa la demanda de agua, creciendo la toma directa de los ríos, embalses y perforaciones de pozos profundos para la extracción de agua.

En el norte de Europa se requieren de 3,000 a 5,000 m<sup>3</sup> por hectárea, cuando en el sur de Europa se requieren de 7,000 a 11,000 m<sup>3</sup> por hectárea, por otro lado, las aguas de retorno en estos sistemas de riego varían de un 20% a un 30%. En Estados Unidos de Norteamérica la extracción de agua estimada es de 8,000 a 10,000 m<sup>3</sup> por hectárea, es decir de un 40 a un 50%. En los países de Asia, África, Centro y Suramérica, debido a su gran diversidad climática y tecnología de riego, varía la demanda de (5,000 a 6,000 m<sup>3</sup> por hectárea) y de (15,000 a 17,000 m<sup>3</sup> por hectárea), y en algunas regiones muy especiales de África, las extracciones varían de 20,000 a 25,000 m<sup>3</sup> por hectárea.

De lo anterior podemos observar que las demandas son sumamente extremas. Esta situación se debe en gran medida a la baja o nula aplicación de modernas tecnologías de riego, que permitan hacer un uso eficiente de grandes volúmenes de agua y de energía eléctrica, lo cual se traduce en importantes ahorros de agua y de energía eléctrica.

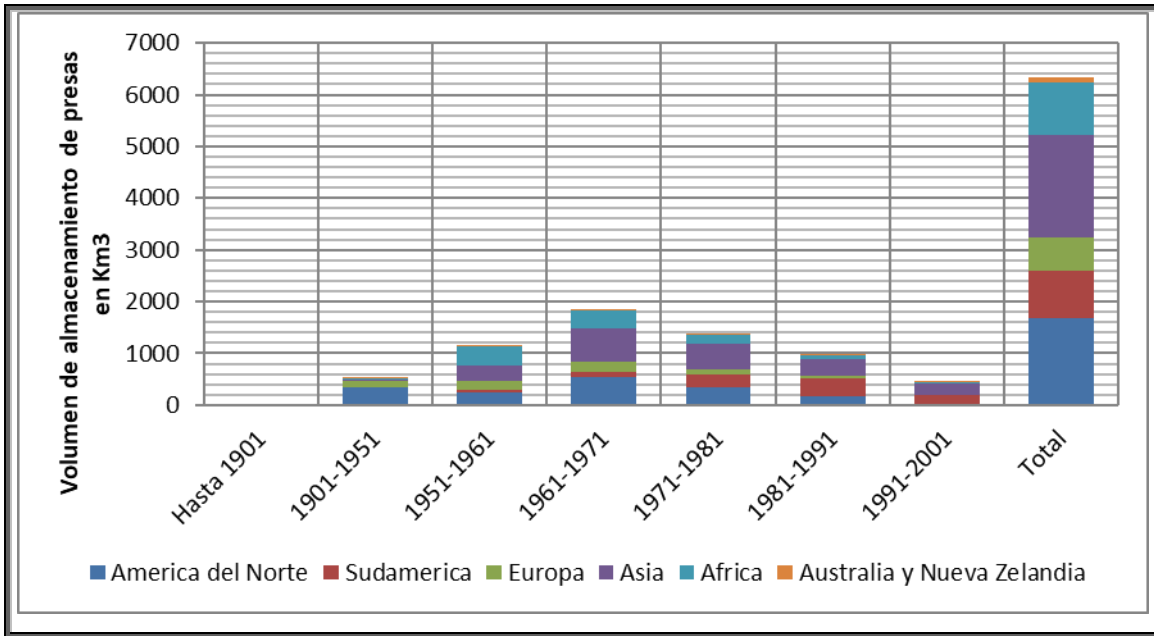
A nivel mundial en los últimos 40 años, como ya lo mencionamos se construyeron una gran cantidad de presas de almacenamiento [Voropaev G.V., Avakian A.B., 1986; Avakian A.B., Liebediev I.P. 2002] ver **Fig. No2.5a, 2.5b**, para usos múltiples, con apoyo de estas obras hidráulicas se ha pretendido regular las inundaciones y poder efectuar una redistribución interno anual de los escurrimientos. Un alto nivel de desarrollo ha alcanzado muchos países, lo cual les ha permitido lograr la regulación de los escurrimientos, como sabemos las obras hidráulicas dependen en gran medida de las condiciones fisiográficas y geológicas. En nuestro país también se construyeron un sin número de presas pequeñas, medianas y grandes, dentro de las cuales destaca en Chiapas La Angostura con un almacenamiento al NAME de 19.73 Km<sup>3</sup>, Malpaso con 12.96 Km<sup>3</sup>, en Michoacán-Guerrero, Infiernillo con 12.5 Km<sup>3</sup>, en Oaxaca, Temascal con 9.1 Km<sup>3</sup> y etc., ver **Fig. No 2.5c**"Grandes presas de México".



Fuente: Avakian A.B., Liebediev I.P. 2002

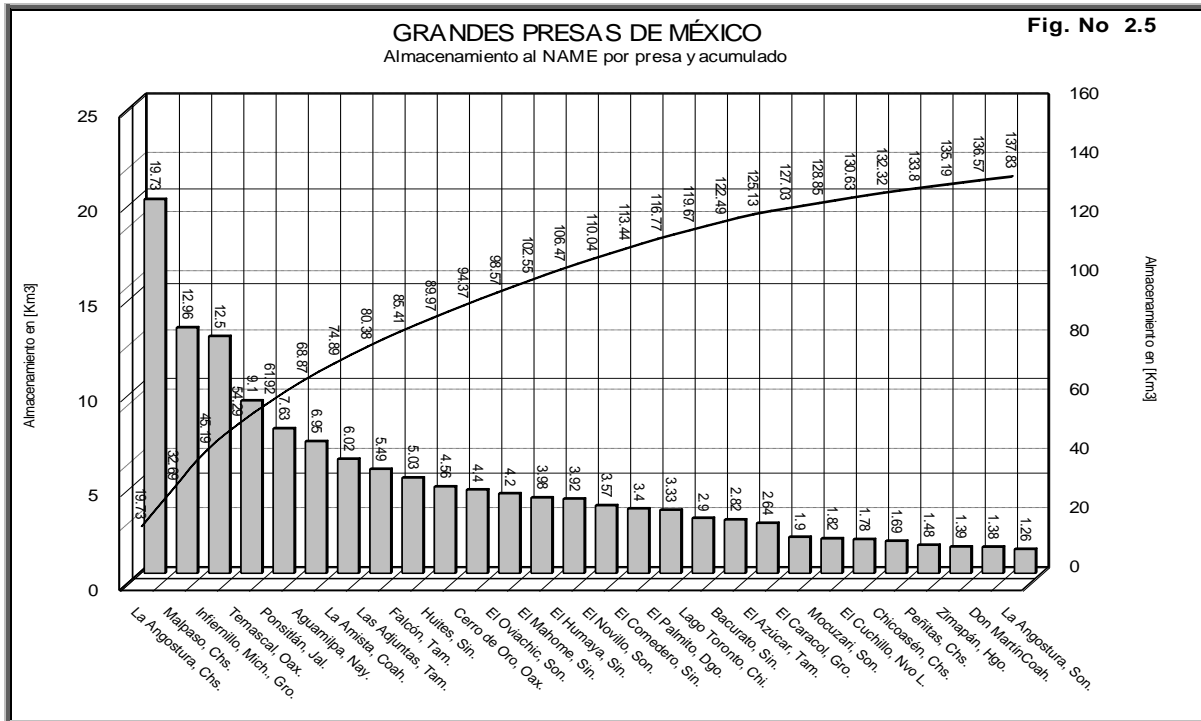
Fig. No. 2.5b Dinámica de presas de almacenamiento construidas en el siglo XX





Fuente: Avakian A.B., Liebediev I.P. 2002.

Fig. No. 2.5b Dinámica de los volúmenes de agua generados por la construcción de presas de almacenamiento en el siglo XX.



Fuente: Elaboración propia

Fig. No 2.5c "Grandes presas de México".

### **2.1.5.- Los pronósticos sobre el uso del agua a nivel mundial y los fundamentos metodológicos para su evaluación.**

Existe una serie de factores básicos que nos permiten determinar las características cuantitativas de los usos del agua en grandes regiones y países del planeta, el nivel de desarrollo social y económico. La cantidad de población, condiciones fisiográficas, climáticas y la superficie de las zonas de estudio. Esta combinación de factores determina el uso y estructura del agua, así como su dinámica y tendencia de su futuro desarrollo.

Para todas las regiones económicas del planeta, los países y cuencas hidrológicas, con buenos resultados podemos determinar los recursos hídricos. El análisis dinámico lo podemos efectuar en forma espacial y temporal. En todos los países, regiones y cuencas hidrológicas las demandas de agua para uso consuntivo, industrial, riego, así como la determinación de las pérdidas por evaporación de la superficie de los cuerpos de agua, estas determinaciones se pueden efectuar para diversos niveles de almacenamiento de agua, en años ya ocurridos, suponiendo condiciones desde el año de 1900, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000, 2010 y un pronóstico para el 2030, esta determinación ha permitido conocer la posible distribución temporal y espacial del agua en el planeta, durante el siglo 20 y para el siglo 21. La determinación de los usos del agua en los diversos países, se obtuvieron resultados en forma generalizada por regiones económicas y continentes.

En los análisis de los usos del agua, se efectuó una analogía considerando el crecimiento poblacional de las zonas urbanas y rurales, con información de la ONU datos de 1995. La demanda de agua específica per cápita y una parte del volumen total de agua consuntiva, se tomó de anuarios publicados por los países y organizaciones internacionales, para aquellos países de los cuales desafortunadamente no cuentan con información.

Respecto al uso del agua para riego se realizó un análisis para un período de 30 a 40 años, los registros históricos incluyeron centros de población y superficie regada, publicada por la FAO, el volumen específico está dado en hectáreas per cápita. Para este caso se tomaron los valores de extracción de agua existente y el consumo de agua estimado por cada país o bien países análogos.

Las estimaciones se efectuaron para diversos escenarios incluyendo los años 2000, 2010 y 2025, se consideró la superficie de riego, analizando las posibles tendencias y cambios, incluyendo una combinación de factores ya mencionados.

La extracción de agua para uso industrial, fue estimada también en base a la evolución de la industria de diversas regiones del planeta, considerando en cada caso el desarrollo económico e industrial, de estas.

### **2.1.6.- Dinámica de los usos del agua en los continentes y a nivel global.**

La dinámica de los usos del agua por continente en el siglo pasado y el que ha iniciado proyectando hasta el año 2025, fue obtenida en base a la información histórica, así como de los diversos escenarios del futuro próximo [Klige R.K, Vendrov S.L.].

Hasta el año de 1995 el agua comprometida era de 3,788 Km<sup>3</sup>/anuales, para uso consuntivo 2,074 Km<sup>3</sup>/anuales, la demanda futura de agua crecerá a razón de un 10 a un 12% cada 10 años, de tal manera que para el año 2025, se demandarán 5,235 Km<sup>3</sup>/anuales, tal como se muestran en la **(Fig. No 2.6)**. Los mayores incrementos de demanda de agua se tienen en Asia, ya que para el año 2000 se requirieron 2,357 Km<sup>3</sup>/anuales de agua y para el año 2025 demandarán 3,254 Km<sup>3</sup>/anuales, lo anterior como podemos observar está íntimamente ligado al crecimiento poblacional y al uso consuntivo del agua del año 2000 (1,458 Km<sup>3</sup>/año) al 2025 (1,876 Km<sup>3</sup>/año).

Para Europa, América del norte, América del sur, África, Australia y Oceanía la demanda no se incrementa mucho. En total en el planeta para el año 2025, se demandarán 5,235 Km<sup>3</sup>/año y para uso consuntivo 2,764 Km<sup>3</sup>/año.

En la **(Fig. No 2.7 y 2.7A)**, se detalla la dinámica de los usos del agua por sectores y actividades hidroeconómicas, así como el uso consuntivo del agua para la industria, agua potable, servicios, agricultura y almacenamiento.

Actualmente la agricultura demanda 2,605 Km<sup>3</sup>/anuales de agua y 1,834 Km<sup>3</sup>/anuales de uso consuntivo de agua a nivel mundial, ya que la superficie bajo riego es de 253 millones de hectáreas; para el año 2025 se tendrá una superficie bajo riego de 329 millones de hectáreas, es decirse 76 millones de hectáreas más en 25 años. El comportamiento de los demás usos del agua se muestra en la **(Fig. No 2.7 y 2.7A)**.

Las características individuales en los continentes, debido a la dinámica de la demanda del agua y su uso consuntivo por sectores hidroeconómicos, se puede observar en la **(Fig. No 2.8 y 2.9)**. En Europa y Norteamérica en cuanto a su manejo del agua, tienen políticas y estructuras similares, en estos países la industria juega un papel preponderante para 1995, se componía de la siguiente manera 44.8% y 41.5% respectivamente, en cuanto al uso consuntivo para 1995 tenemos un 15.3% y 7.2%, y para el año 2025 un 22.3% y 7.5% respectivamente. Respecto a la demanda de agua para la agricultura y su uso consuntivo para el año de 1995 tenemos un 71.4% y 75.1% y para el año 2025 un 66.8% y 72.4% respectivamente.

En África, Asia y América del sur las actividades agrícolas juegan un papel importante en cuanto a los usos del agua. En 1995 el riego requería un 63%, 80% y 58.6%, para el año 2025 demandarán 53%, 72% y 44.2% respectivamente. En cuanto al uso consuntivo en 1995 era de 63.0%, 91.0% y 76.4% y para el año 2025 la tendencia es la siguiente 60.5%, 88.4% y 67.4% respectivamente.

En Australia y Oceanía la demanda de agua para la industria en el año de 1995 fue de 23.5%, para el año 2025 será de 46.0% y en cuanto al uso consuntivo en la industria en 1995 era de 3.1% y para el año 2025 será de 6.4% respectivamente.

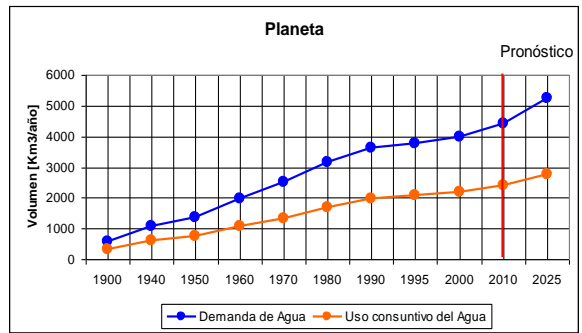
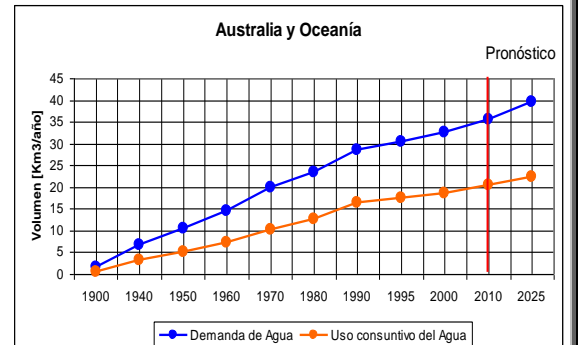
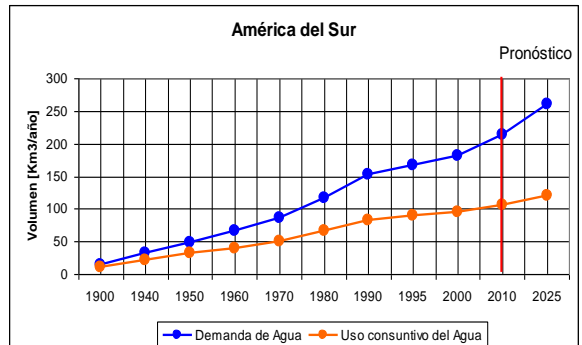
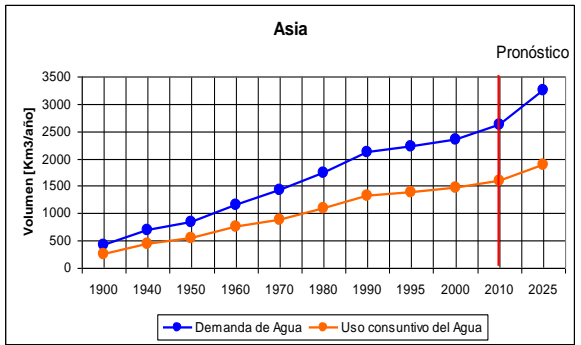
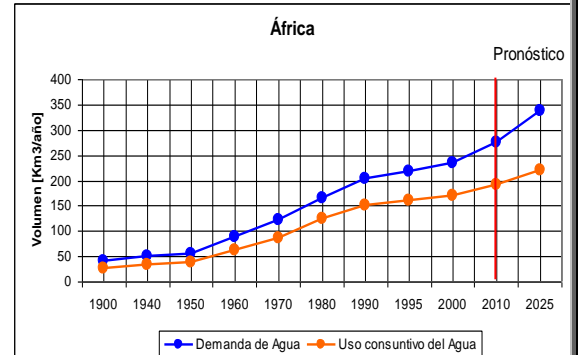
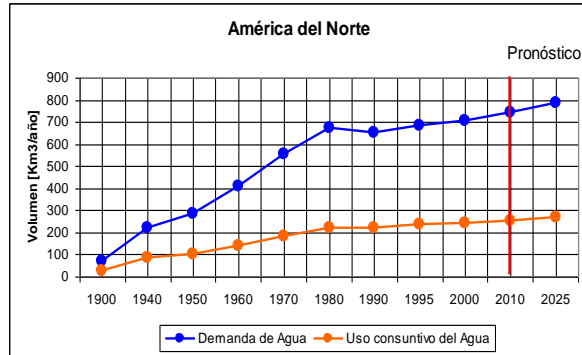
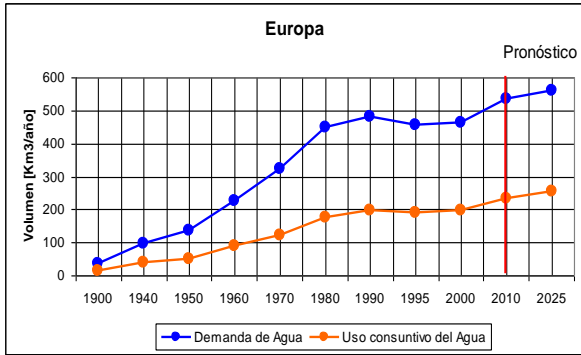
El uso de agua en actividades agrícolas para Australia y Oceanía, la demanda de agua en 1995 fue de 50%, para el año 2025 se considera de 46.8%. El uso consuntivo del agua en la agricultura para estos continentes en 1995 fue de 81.3% y para el año 2025 será de 64.1%.

Como podemos observar para el año 2025 no se tiene una disminución considerable en los diversos usos, tanto por demanda como por uso consuntivo. Lo anterior se observa con mayor énfasis en los continentes Africanos Asiático y América del sur, contrariamente a lo que ocurre en Europa y América del Norte donde prácticamente, se mantiene igual que en 1995.

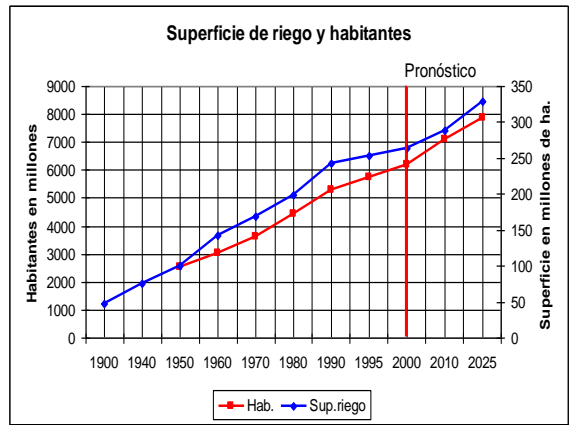
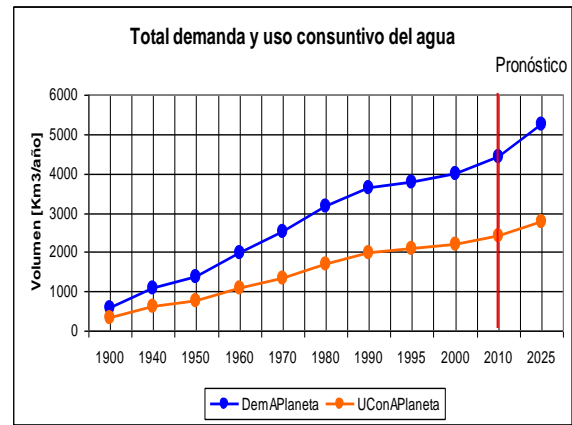
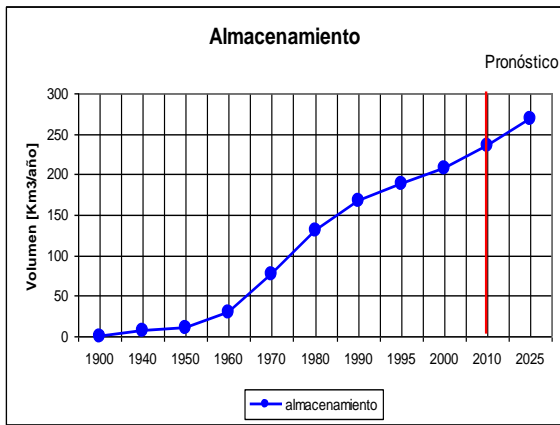
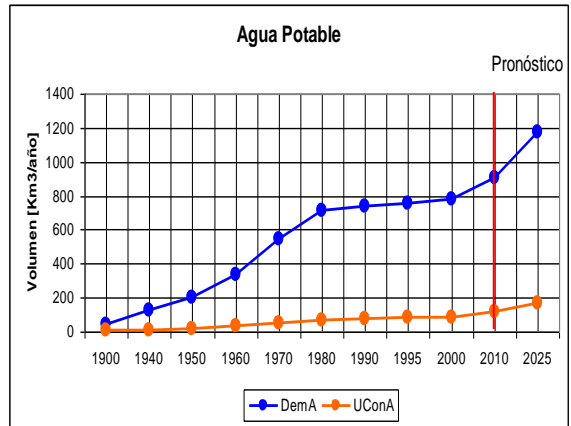
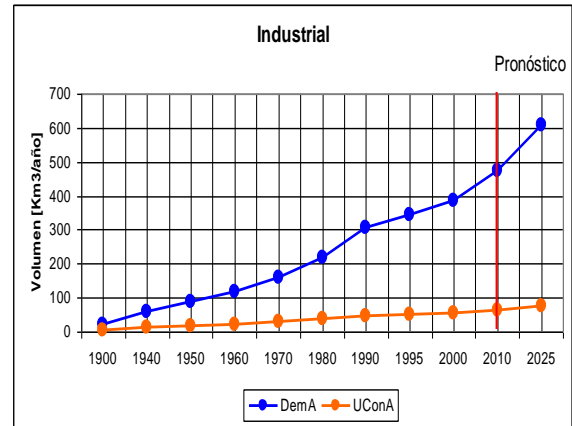
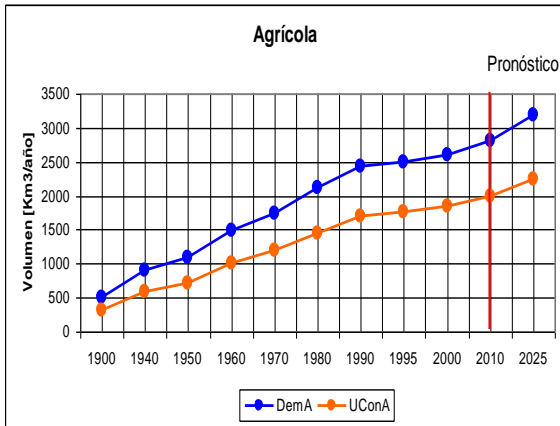
De la **(Fig. No.2.10)**, podemos observar que las extracciones de agua son muy irregulares, distribuidas por regiones en los continentes, no coinciden con la disponibilidad de sus recursos hídricos. En el norte-sur de Europa la extracción de agua representa el 95% del total de extracciones en el continente europeo; en Estados Unidos de Norteamérica el 73% de las extracciones de agua; en Australia y Asia el mayor volumen de demanda de agua lo tenemos en las regiones del sur de Asia, incluyendo la India, Pakistán, Bangla Desh y el sur-este de Asia, donde se encuentran las grandes superficies de riego de China.

En África la mayor demanda de agua se ubica en la porción norte de este continente, el 50% de la demanda de agua para América del sur se encuentra dispersa en una gran cantidad de regiones. La dinámica del uso del agua para el año 2025 difiere mucho en cada región del planeta, lo anterior se debe principalmente al desarrollo económico de los países, por un lado, por otro lo limitado de los recursos hídricos con que cuentan estos países, la demanda de agua varía de 15 a 35%. Las regiones de los países desarrollados con suficientes recursos hídricos pueden extraer de 100 a 200%.

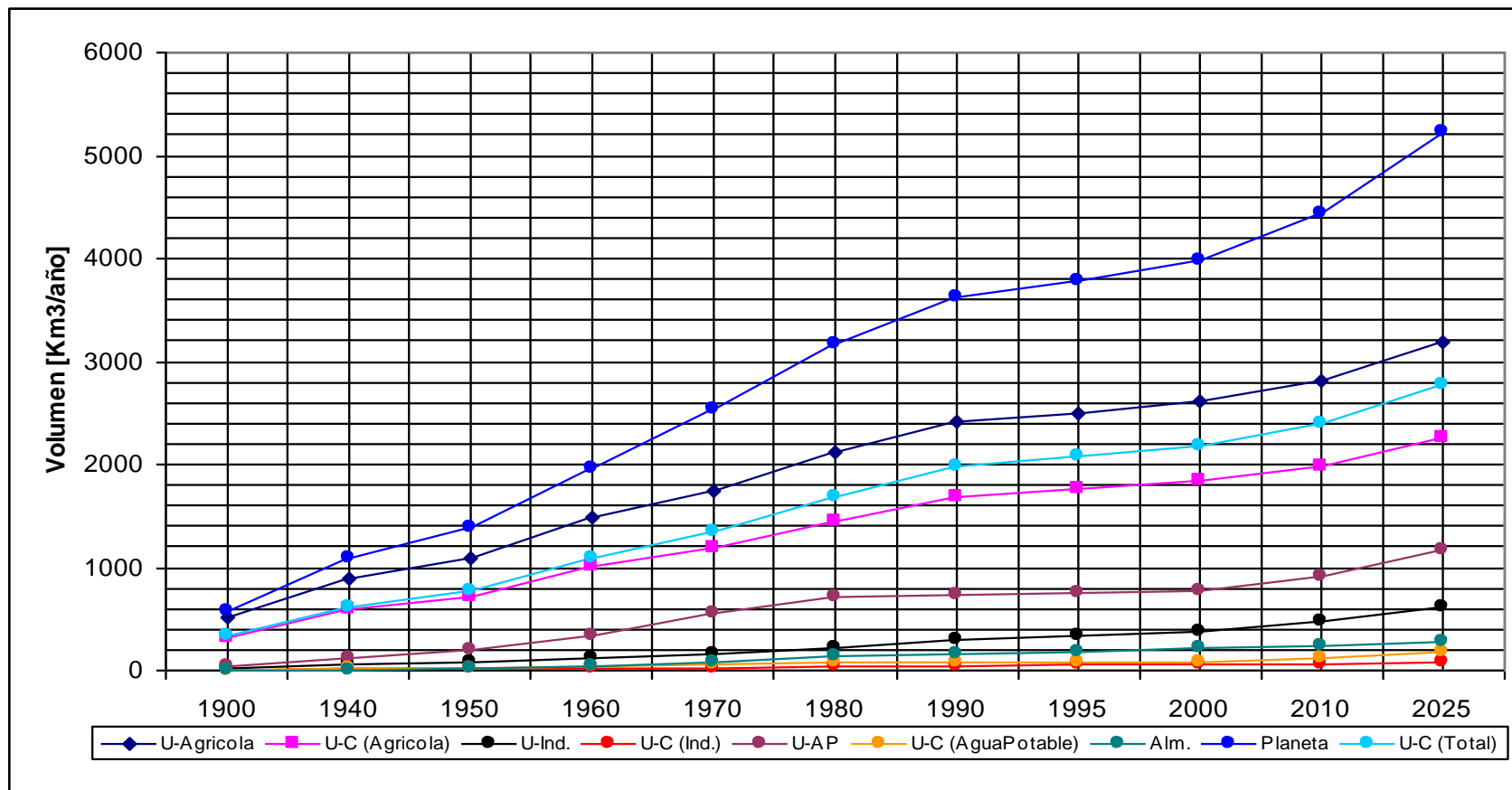
**Fig. No. 2.6 Dinámica de los Usos del Agua en el Planeta y los Continentes (Km<sup>3</sup>/año).**



**Fig. No. 2.7 Dinámica de los Usos del Agua en el Planeta, por Sectores y Actividades Hidroeconómicas ( Km<sup>3</sup>/año)**

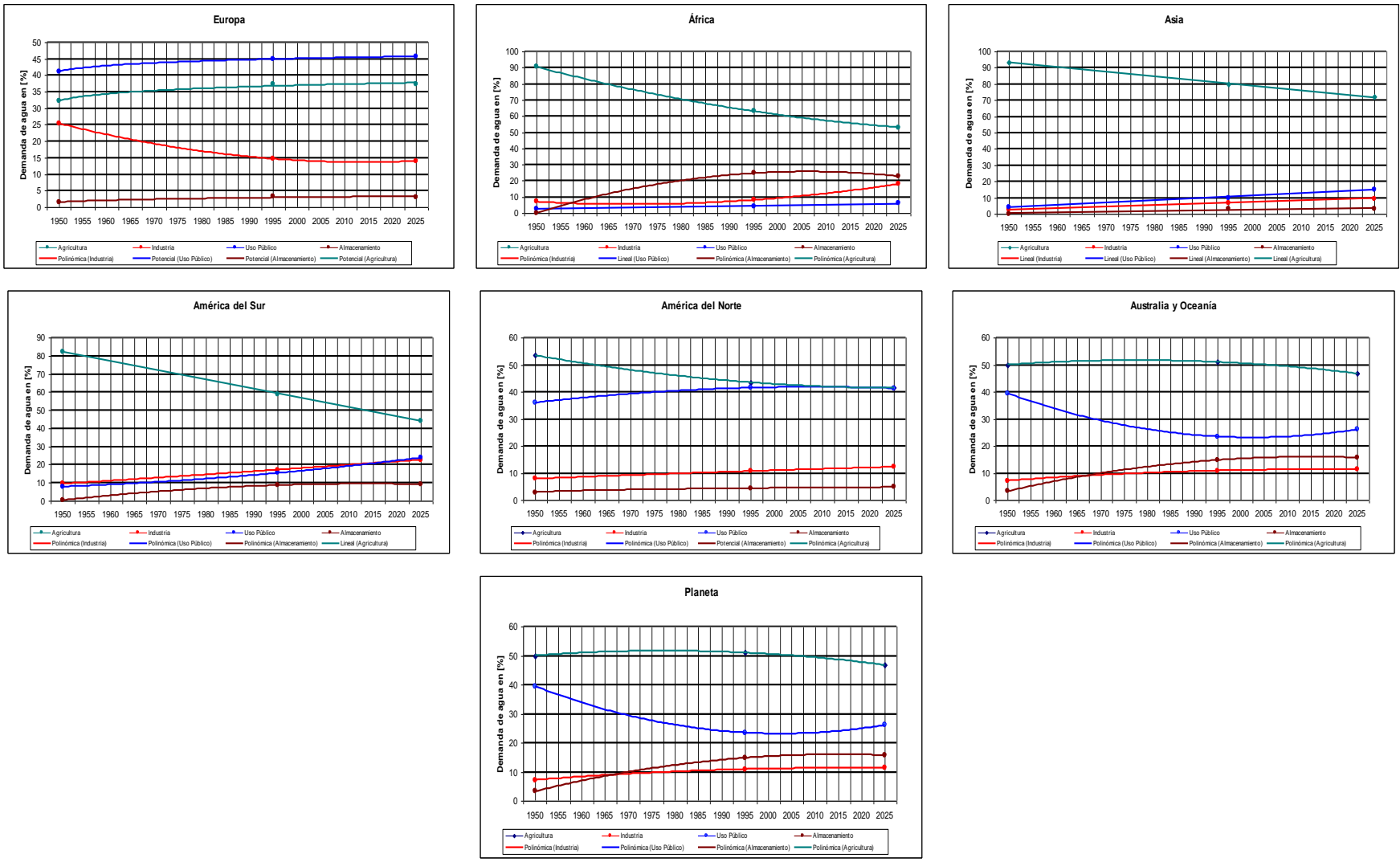


**Fig. No. 2.7 A Dinámica de los Usos del Agua en el Planeta, por Sectores y Actividades Hidroeconómicas (Km<sup>3</sup>/año).**

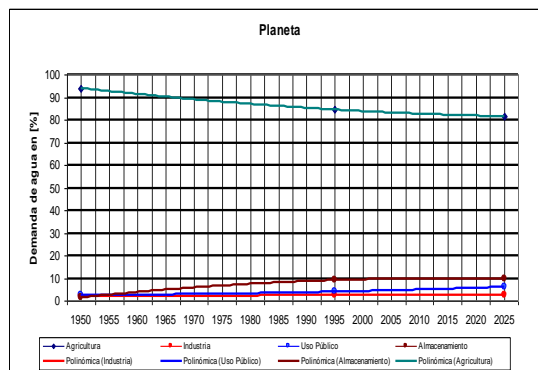
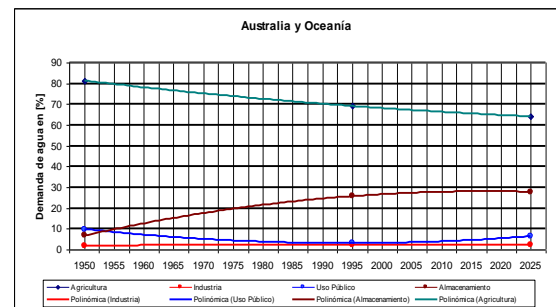
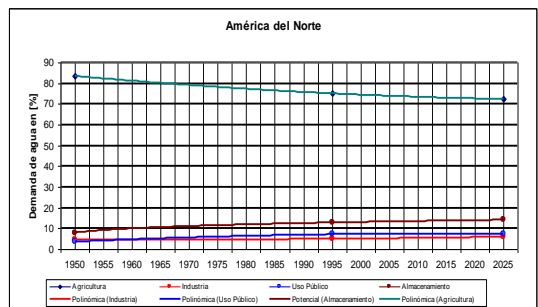
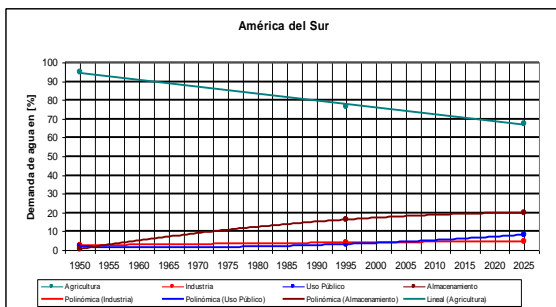
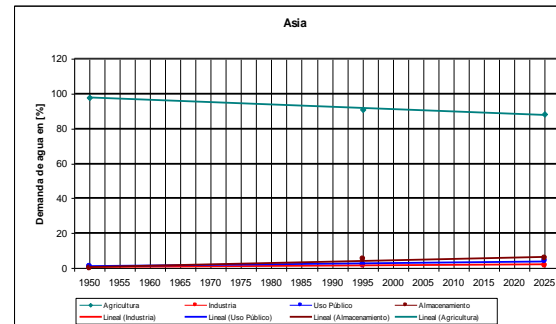
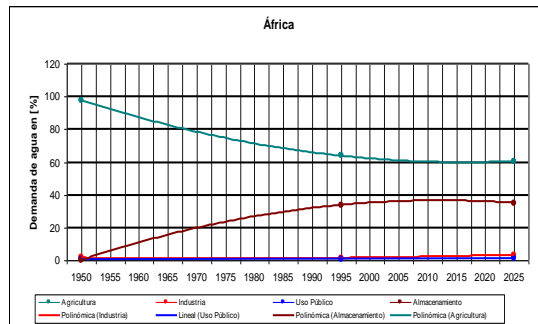
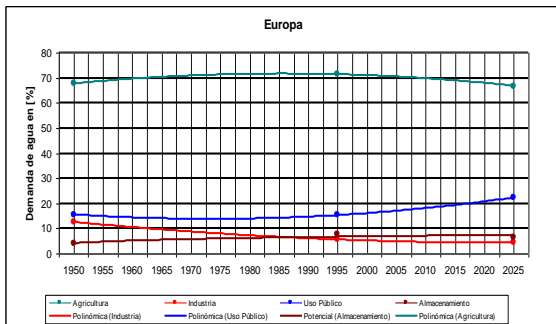


Nota: Uso Agrícola (U-Agrícola); Uso Consuntivo en la Agricultura (U-C Agrícola); Uso Industrial (U-Ind.);  
 Uso Consuntivo en la Industria (U-C Ind.); Uso en Agua Potable (U-AP); Uso Consuntivo en el Agua Potable (U-C AP);  
 Almacenamiento (Alm.) y Uso Consuntivo (U-C).

**Fig. No 2.8 Relación de la Demanda de Agua por sector Hidroeconómico, con respecto al Total de Demanda de Agua en (%), en los Continentes**

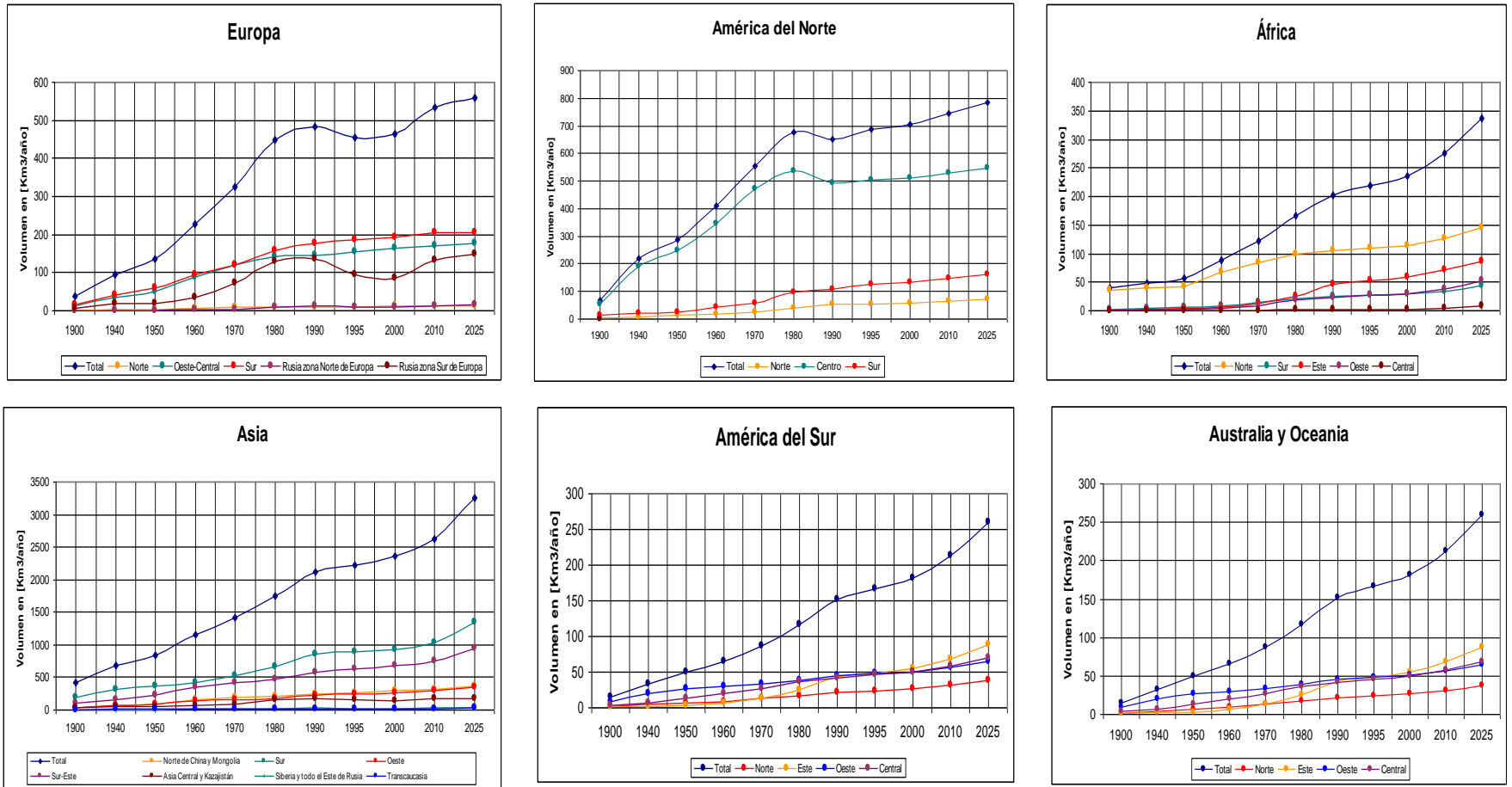


**Fig. No. 2.9 Relación del Uso Consumitivo del Agua por sector Hidroeconómico, con respecto al Total de Agua Consumitiva dada en (%), en los Continentes.**





**Fig. No. 2.10 Dinámica del Uso del Agua en los Continentes y Regiones Hidroeconómicas del Planeta.**



Fuente: Elaboración propia



### **2.1.7.- Los recursos hídricos y los usos del agua.**

En la **Fig. No 2.10**, podemos observar la dinámica del uso del agua por regiones en los continentes, es el siguiente comportamiento para el período del 2000-2025. El incremento en Europa será de 20.7%, donde el aumento más sustantivo se contempla en el norte y sur de la parte proporcional de Rusia europea, con 60 y 57.7% correspondientemente. En América del Norte el incremento global, es del 11.4% para las regiones del norte y sur el incremento será 26.2 y 20.0% respectivamente. En África el incremento será de 143%, en las regiones del centro de África el incremento será más significativo con 193% y para el oeste 75%, para el norte 53% y para el sur 46.0%.

Para Asia el incremento del uso del agua, se prevé de 138%, para las regiones del norte de China y Mongolia el 26%, para el sur 44.7%, para el oeste 33%, sureste 38%, Asia central y Kazajstán un 18.2%, para Siberia y oeste de Rusia 47.5% y para Transcaucásia 36%; para América del sur el incremento global representa un 42.8%, en las regiones del norte 45.6%, para el este 60.4%, para el oeste 28.0% y para el centro 38.6% y finalmente en Australia y Oceanía el incremento global será de 21.5%, donde para Australia le corresponde 21.5% y Oceanía 25.0%.

Referente la dinámica del uso consuntivo del agua, en la **(Fig. No.2.11)**, podemos apreciar la evolución habida, así como sus tendencias. Los usos consuntivos del agua están distribuidos en forma muy desigual en los continentes, regiones y en cada país. Lo anterior ocurre en gran medida debido a la disponibilidad de recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos, su distribución espacial y temporal es muy desigual en los países. Por otro lado, debemos considerar que las concentraciones de población, que demandan mayores volúmenes de agua para cubrir sus necesidades en las actividades hidroeconómicas, también son muy desiguales.

El proceso de evolución del uso consuntivo del agua por regiones hidroeconómicas en los continentes, se compone actualmente: para Europa durante el período de 2000-2025 el volumen de agua, se incrementa en un 30%, donde para las regiones del norte el incremento, es del 22.0%, en el oeste central el 7.0%, en el sur el 4.0%, en el norte y sur de Rusia europea 163% y 118% correspondientemente. Como podemos observar en esta última región el incremento es de consideración.

En América del norte para el mismo período tenemos 10.6% en forma global, para su porción norte 33.0%, central 6.6% y sur 18.0%; en África el incremento global será 29.0 %, por regiones en el norte 18.0 %, en el sur de 44.4%, en el este 35.0%, oeste 47.5% y en el centro 92.0%; en Asia el 28.6% global, por regiones en el norte de China y Mongolia 8.4%, en el sur 34.8%, en el oeste 25.0%, en el sureste 21.0%, Asia central y Kazajstán 33.7%, en Siberia y todo el este de Rusia 45.6% y Transcaucásia 49.1%, para América del sur del 25.0% global, por regiones en el norte 26.3%, en el este 27.7%, en el oeste 28.7% y en el centro de 24.6% y por último en Australia y Oceanía 19.2% global de incremento, de los cuales para Australia le corresponde un 20.0%, para Oceanía un 16.0%.

La dinámica anterior también está en función del nivel económico de los países, la modernización de la industria, el desarrollo agrícola, el suministro de agua a centros de población, que contemplen modernas tecnologías y un uso eficiente del agua, con lo cual podrían disminuirse las tendencias de crecimiento para no usar más y más agua, debiendo mejorar en primer término, el nivel actual de tecnología en cada país, con objeto de mejorar sustancialmente el uso, manejo y aprovechamiento integral de los recursos hídricos, ya que la disponibilidad de estos recursos es finita y su distribución territorial es muy irregular, adicionalmente a esto se suman los procesos hidroclimatológicos extremos (sequías e inundaciones), que también determinan su racional aprovechamiento.

### **2.1.8.- La disponibilidad de agua y su déficit.**

La distribución territorial de los recursos hídricos, ya se mencionó que es muy desigual en los continentes, también influyen las grandes diferencias entre poblaciones, así como por su desarrollo económico. En este caso los recursos hídricos claramente difieren de los análisis y comparaciones específicas entre el agua disponible.

Para poder realizar un manejo y aprovechamiento sustentable del agua, debemos realizar una planeación integral, considerando que hay que determinar la disponibilidad de agua específica para cualquier nivel de diseño de obras hidráulicas, separando de los recursos hídricos el uso consuntivo del agua, considerando la cantidad de población por continentes, región, país, estado y municipio. En este caso los recursos hídricos asumen el proceso de formación de los escurrimientos en las cuencas hidrológicas y se suman los escurrimientos importados de las cuencas compartidas con otros países, regiones, estados o municipios. Para que la disponibilidad de agua específica sea significativa antes de su uso, como la cantidad de agua per cápita, es muy importante considerar el crecimiento poblacional, debido a que también crece el uso consuntivo del agua, por tanto, el valor del volumen de disponibilidad de agua decrece.

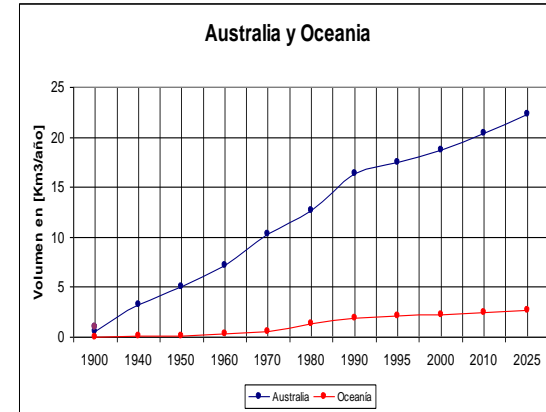
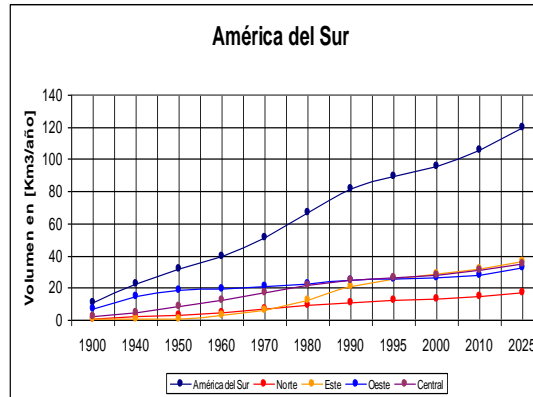
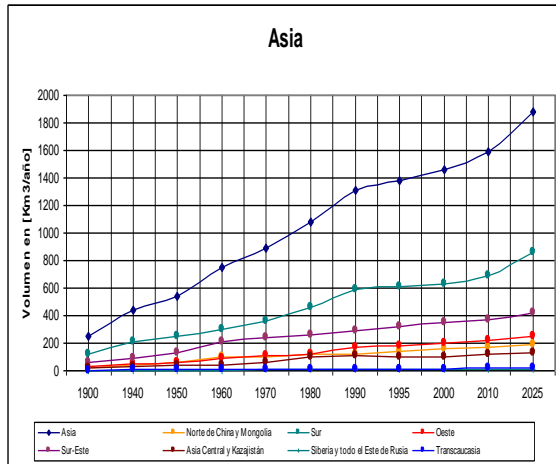
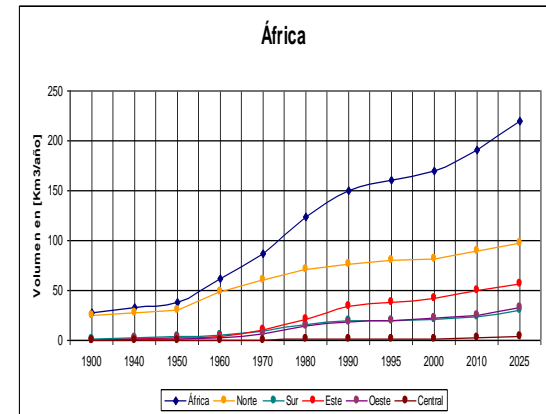
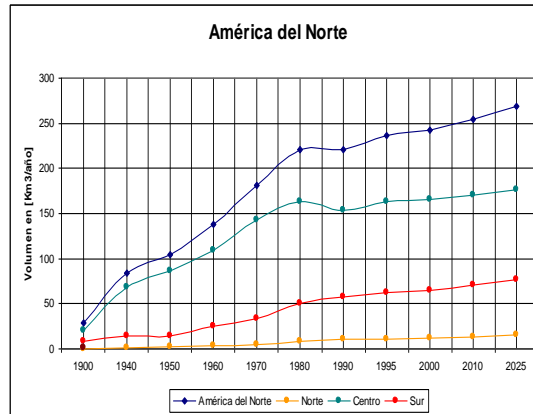
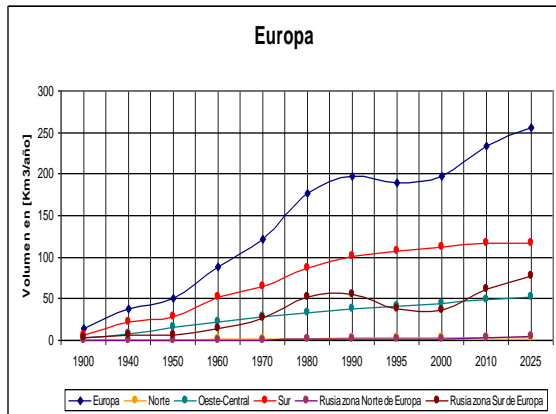
La cantidad disponible de agua específica para todas las regiones económicas y para algunos países seleccionados durante el período de análisis desde el año de 1950 al año 2025, nos revela la enorme diferencia que existe en cuanto a la distribución del agua en todos los territorios del planeta.

Si consideramos como punto de partida el año de 1995, podemos notar que la diferencia de disponibilidad de agua fue de 170 a 180 mil m<sup>3</sup> per cápita en las regiones de Alaska, Canadá y/o Oceanía. Para ese mismo período la densidad de población en Asia central y el sur de Europa y África, por cálculos recientes la diferencia es de aproximadamente de 1,200 a 5,000 m<sup>3</sup> por año. En el norte de África y la península Arábiga la diferencia es de 200 a 300 m<sup>3</sup> por año. Vale la pena mencionar que la disponibilidad de agua de 2,000 m<sup>3</sup> per cápita por año, es muy baja y que menos de 1,000 m<sup>3</sup> per cápita por año es simplemente catastrófica. Con estos valores de disponibilidad, se tienen problemas muy serios como para poder soportar el desarrollo de los centros de población, la industria, la agricultura y otros usos.

Lo anterior lo podemos notar con mayor claridad en la **(Figura No.2.11)**, donde se muestra la distribución de la disponibilidad de agua específica en las regiones hidroeconómicas del planeta. En los planos se diferencia con colores la disponibilidad de agua específica, los rangos están dados en miles de metros cúbicos per cápita por año. A continuación, se describen estos rangos: cuando es igual o menor a 1.-catastrófica; de 1.1 a 2.0 .-muy bajo; de 2.1 a 5.0.-bajo; de 5.1 a 10.0.-medio; de 10.1 a 20.0.-alto y mayor de 20.0. -muy alto.

*La situación anterior, se verá mucho más agudizada a principios del siglo 21, (ver figura 2.11). Para el año 2025 en gran parte del planeta la población al parecer vivirá bajo condiciones de disponibilidad de agua baja y catastrófica. Aproximadamente de un 30 a 35% de la población del planeta tendrá una situación catastrófica en cuanto se refiere al agua para consumo humano, es decir menos de 1,000 m<sup>3</sup> per cápita por año. Al mismo tiempo para todos los niveles de diseño, que incluyen escenarios futuros la disponibilidad de agua específica es alta, se presenta en el norte de Europa, Canadá y Alaska, así como en casi toda América del sur, centro de África, Siberia en su porción oeste y en Oceanía.*

**Fig. No. 2.11 Dinámica del uso consuntivo del agua por continente y regiones hidroeconómicas de planeta.**



Fuente: Elaboración propia

Para conocer el déficit de recursos hídricos en el planeta, en el futuro próximo, es importante efectuar un análisis de tendencias sobre los cambios de la disponibilidad de agua específica, dependiendo de las condiciones fisiográficas y socioeconómicas. Este análisis puede elaborarse en base a información generada por las regiones económicas naturales del planeta. Los resultados nos muestran que **la disponibilidad de agua, dependerá de dos factores**: el primero social y un segundo se refiere al desarrollo económico de los países que componen las regiones, así como las condiciones climáticas prevaletentes en estos países. **En la figura No.2.12**, se muestra esta situación, así como la dinámica de disponibilidad de agua específica a partir de 1950 al 2025 los resultados están en unidades relativas (comparados con 1950), **donde se incluyen tres grupos de regiones**.

- Países con desarrollo industrial.
- Países con desarrollo bajo condiciones de humedad suficiente y excesiva.
- Países con desarrollo en zonas áridas y semiáridas.

En la **figura No. 2.13** se muestra una representación de la disponibilidad de agua específica, la cual es relativamente baja para regiones que incluyen países industrialmente desarrollados. Lo anterior en este caso no depende de las condiciones climáticas y almacenamiento de recursos hídricos que suman en promedio 1.7 veces para el período analizado. La proporción de reducción de disponibilidad de agua específica, drásticamente se incrementa para países en vías de desarrollo, en promedio 4.5 veces, para condiciones cuando tenemos suficiencia y excedentes de humedad y un 7.5 veces para condiciones áridas con insuficiencia de humedad.

Como podemos observar las diferencias tan grandes en cuanto a la distribución de la disponibilidad de agua en el planeta, se ve incrementada por las actividades hidroeconómicas del hombre y el crecimiento poblacional.

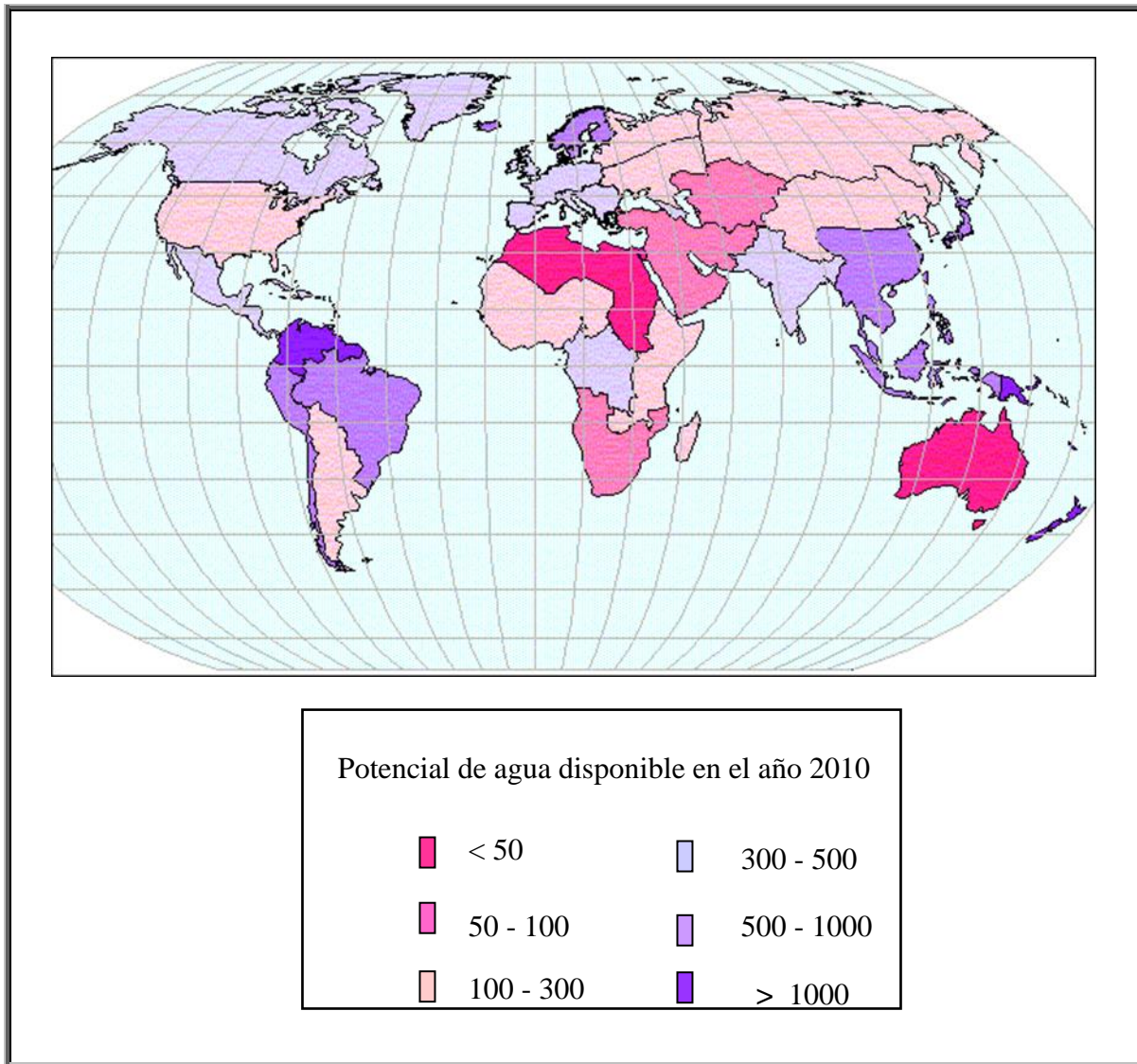
Situaciones análogas las observamos en otros países. El análisis efectuado nos muestra los cambios a largo plazo, estas variaciones se determinan gracias al análisis conjunto de muchos países. Los países industrialmente desarrollados que se encuentran en regiones húmedas, tienen menor riesgo de incrementar su déficit de disponibilidad de agua específica. Por otro lado, en los países en vías de desarrollo, tienen una disponibilidad de agua específica muy baja, con una alta disminución, debido al crecimiento poblacional, que demanda mayor consumo de agua. Por lo anterior estos países no se encuentran en la posibilidad de suministrar la cantidad de agua demandada.

#### **2.1.9.- Los recursos hídricos y los cambios globales en el clima y el medio ambiente por efecto de las acciones antropogénicas.**

Durante el tiempo que tiene de existencia la hidrometeorología, se ha evaluado la disponibilidad de agua, así como su distribución temporal y espacial, basada en la concepción estacional del clima. Lo anterior implica considerar las variaciones de las condiciones climáticas y la disponibilidad de los recursos hídricos en el futuro, a través de analogías de procesos hidrológicos ya ocurridos.

La conceptualización de la hidrología para evaluar además del uso del agua, también está aceptada su aplicación en el cálculo de escurrimientos de cuencas hidrológicas, base para el diseño y construcción de obras hidráulicas.

En los últimos años los científicos han detectado problemas climáticos a nivel global, debido a los efectos provocados por las acciones antropogénicas, sobre el medioambiente. Lo anterior se expresa en el incremento sustantivo de bióxido de carbono emitido hacia la atmósfera, debido a las continuas emisiones de gases por la industria, la deforestación y otros factores.



Fuente: Shiklomanov I.A.

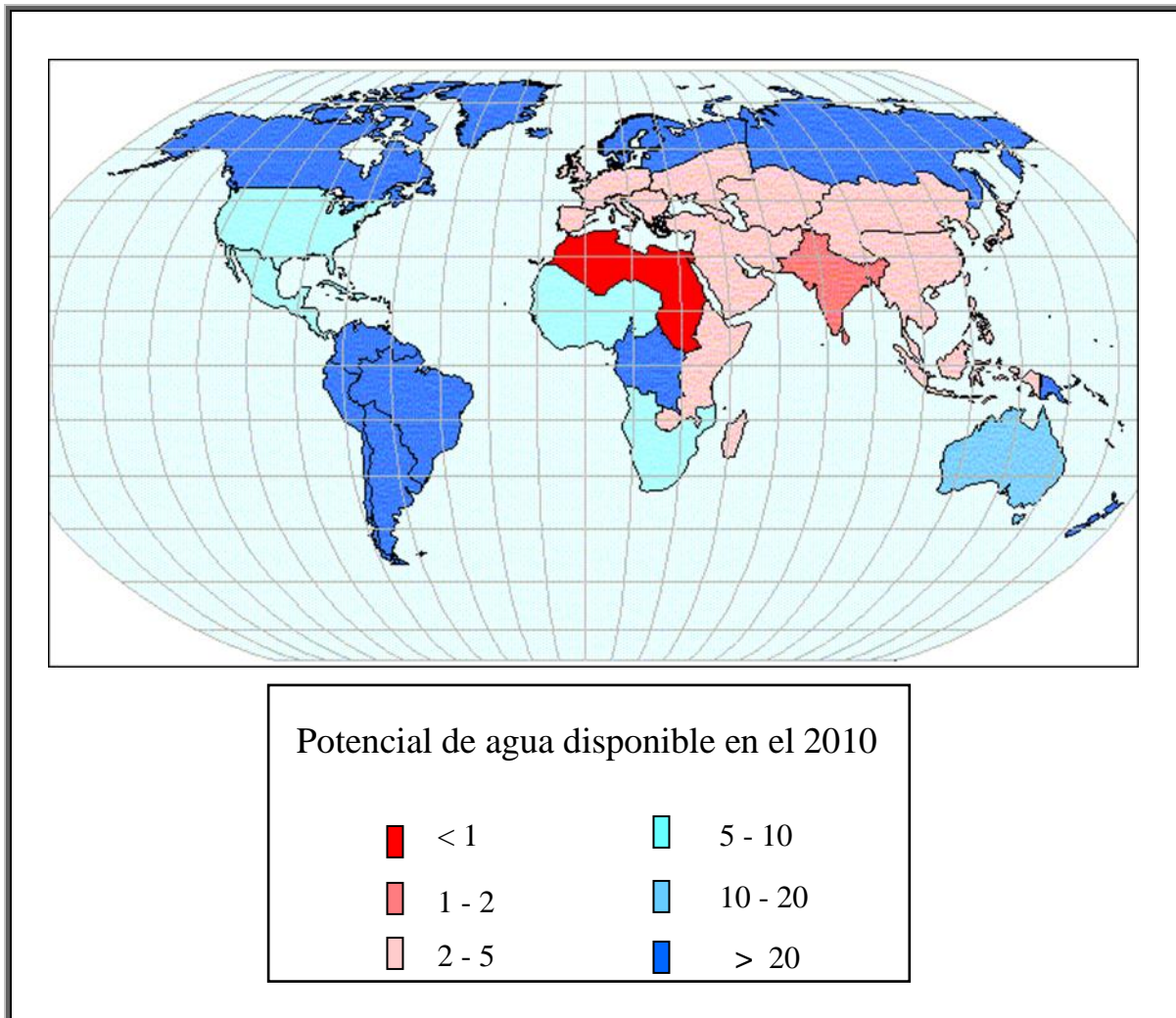
Fig. No. 2.12.- Potencial de agua disponible en regiones hidroeconómicas naturales del planeta [miles de  $m^3/km^2 \times año$ ]

El bióxido de carbono emitido a la atmósfera atenúa la radiación solar, creando un efecto de invernadero el cual incrementa la temperatura, este proceso en los subsecuentes años puede motivar un cambio drástico no deseable en el clima.

Por lo anterior surge una serie de interrogantes sobre la concepción de la estacionalidad del clima, para estimar la disponibilidad de agua para el período 2010-2025, es necesario considerar los cambios en el entorno, así como saber en qué regiones del planeta se están cometiendo graves daños al medioambiente ya que estos factores no pueden ser ignorados.

Las mediciones realizadas de bióxido de carbono tuvieron sus inicios en 1978, registrándose concentraciones de bióxido de carbono de hasta de 315 unidades convencionales, es decir 0.031%

del volumen total de gas emitido a la atmósfera. En 1990 se incrementó a 350 unidades o bien 11.1%, en el bióxido de carbono estimado, para 1880 se tendrían 285 unidades. Significa que en 110 años el bióxido de carbono se incrementó de 22.8% a 25%; como vemos con el tiempo este porcentaje crecerá.



Fuente: Shiklomanov I.A.

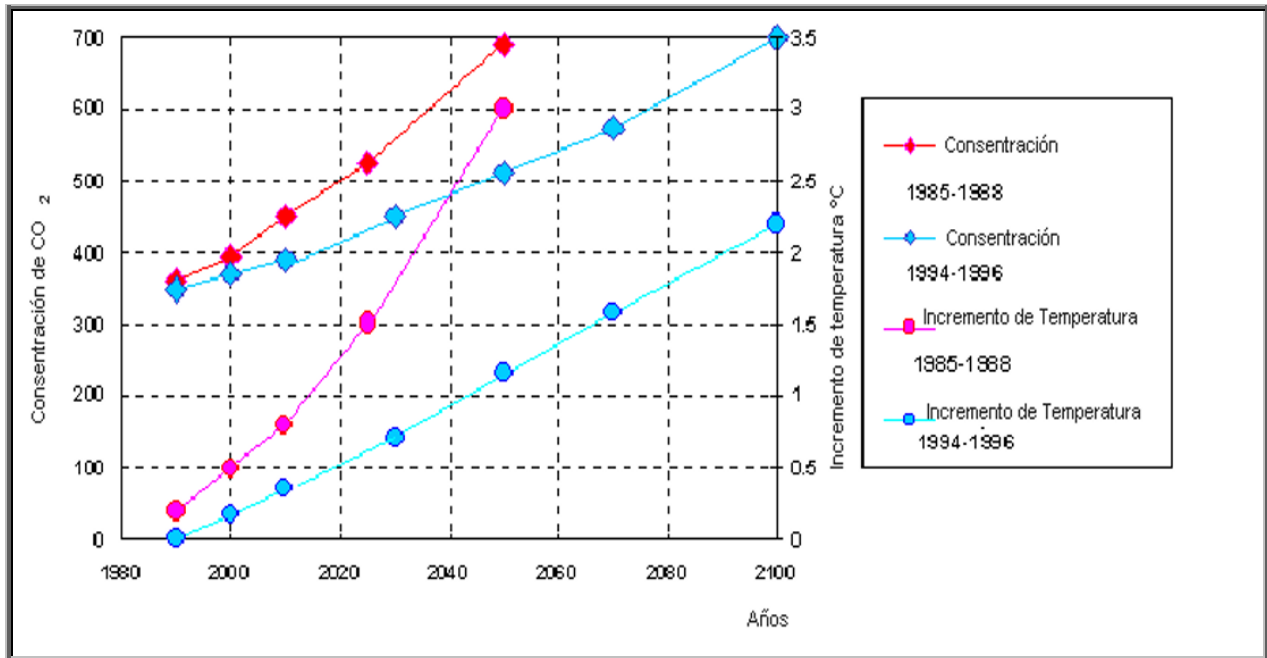
Fig. No. 2.13 Potencial de agua disponible en las regiones económicas del planeta datos de 2010, valores en miles de m<sup>3</sup> /per cápita por año

El incremento de bióxido de carbono ha provocado un aumento en la temperatura del orden de 0.5 grados centígrados en términos reales, debido al incremento de bióxido de carbono en los últimos quince años en algunas partes del planeta la temperatura se incrementó de 1 a 2 grados centígrados, influyendo considerablemente en la regeneración de los recursos hídricos. Muchos científicos asocian estos cambios directamente al régimen climático, escurrimientos y las acciones antropogénicas sobre el calentamiento global.

Todos los cuerpos de agua, al igual que los sistemas hidrológicos son muy sensibles a cualquier cambio, los efectos por las acciones antropogénicas en el clima regional, resulta muy incierto.



Estos cambios se refieren fundamentalmente a la variabilidad de las lluvias que contribuyen a la generación de escurrimientos en las cuencas hidrológicas, en situaciones extremas, es decir sequías prolongadas o inundaciones. Las evaluaciones de disponibilidad de agua para el año 2025, se prevé un probable cambio climático, motivado como ya se mencionó debido a las acciones antropogénicas en el medioambiente, lo anterior se pueda apreciar en la **(Figura 2.14)**. Para el año 2025, se espera que la temperatura se incremente en 0.6 grados centígrados.



Fuente: Shiklomanov I.A.

Fig. No 2.14 Estimación de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera e incremento de la To del aire global en el futuro, obteniendo para los periodos de 1985 a 1988 y 1994 a 1996. Pronóstico del incrementó de To al año 2100.

### 3.- Alternativas para mitigar el déficit de agua en algunas regiones continentales.

De las **(Figuras 3.1 y 3.2)**, la distribución a niveles extremos, respecto a la distribución espacial y temporal de los recursos hídricos, así como la influencia de las actividades humanas, debido a un rápido incrementó de la población, nos muestran que el actual déficit de agua, es significativo en muchas ciudades y regiones del planeta, principalmente durante los años de sequías o estiaje severos. Las estimaciones nos muestran que, en las décadas por venir, en muchos partes de la tierra, principalmente en las ciudades, sus habitantes tendrán situaciones críticas de suministro de agua. El déficit de los recursos hídricos representa un factor determinante y afectan la vida normal de las poblaciones en sus actividades económicas, frenando principalmente el crecimiento de los países en vías de desarrollo.

**Por tal situación se prevé que a mediados del siglo 21 los problemas del agua serán uno de los más importantes de la humanidad, así como la producción de alimentos y energéticos.**

Esta situación crítica en cuanto al suministro de agua, demanda fuertes inversiones económicas en infraestructura hidráulica, que permita mitigar el déficit de agua principalmente para consumo humano y la sustentabilidad del desarrollo hidroeconómico, bajo diversas condiciones fisiográficas.

En la actualidad y en el futuro inmediato las medidas a tomar más realistas y eficaces serían: promover una economía global y protección de los recursos hídricos, una disminución considerable

del uso consuntivo de agua principalmente en las zonas de riego y la industria, la reducción total de las descargas de aguas residuales, promoviendo su tratamiento y reuso, optimizar la regulación de los escurrimientos en forma estacional de largo plazo, mayor uso de las aguas saladas y salobres, influir en el proceso de formación de las precipitaciones, un mayor almacenamiento de agua en lagos, lagunas, acuíferos someros y profundos, glaciares, así como una redistribución territorial de los recursos hídricos.

Todas estas y otras medidas requieren enormes inversiones económicas y voluntades políticas de todos los países del mundo, al mismo tiempo hay que mencionar que se tienen limitaciones. Cada una de las medidas ejerce cierto grado de influencia sobre el medio ambiente. Es decir, no están exentas de alguna consecuencia ecológica. Estos efectos pueden ser significativos o bien poco previsible. Una excepción sería el tratamiento de las aguas residuales y su reutilización como ya se mencionó, lo cual nos permitirá conservar importantes volúmenes de agua, para que se pueda liberar estos volúmenes y destinarlos a las necesidades más importantes, beneficiando el medio ambiente.

Todas estas propuestas pueden manejarse con el fin de obtener considerables volúmenes de agua adicionales y resolver los problemas del agua para aquellas regiones del planeta, donde sin graves consecuencias ecológicas, se pueden aplicar por situaciones económicas, geográficas y características del agua.

Hay que mencionar que dentro de las medidas que nos pueden permitir disminuir el déficit de agua, son aquellas donde podemos efectuar una regulación de los escurrimientos y una redistribución territorial de los mismos, para diversos escenarios de desarrollo. Las medidas como una transferencia parcial de escurrimientos de una cuenca hidrológica a otra, representa una oportunidad y una realidad viable de ejecutarse, con lo cual podemos compensar los déficits de agua de otras cuencas, dependiendo principalmente del destino, uso y distribución territorial que se desee hacer del agua. Los escurrimientos existentes en el planeta, en su conjunto permitirían cubrir cualquier demanda de agua durante muchas décadas, sin embargo, estos recursos hídricos están distribuidos en el planeta en forma muy irregular, en cada continente existen muchas regiones con excedentes de humedad y con severos déficits de agua como ya vimos.

Las actividades hidroeconómicas deberán promover que el desnivel natural de los recursos hídricos existente, permita un desarrollo sustentable y sostenible en cualquier país. Lo anterior se refiere a que en las zonas donde abundan los recursos hídricos, poco se usan en las actividades agrícolas, industriales y suministro de agua a centros de población, contrariamente a lo que ocurre en otros países, estados y municipios donde se tienen fuertes déficit de agua. Por tal razón los factores antropogénicos agudizan aún más esta situación, año con año.

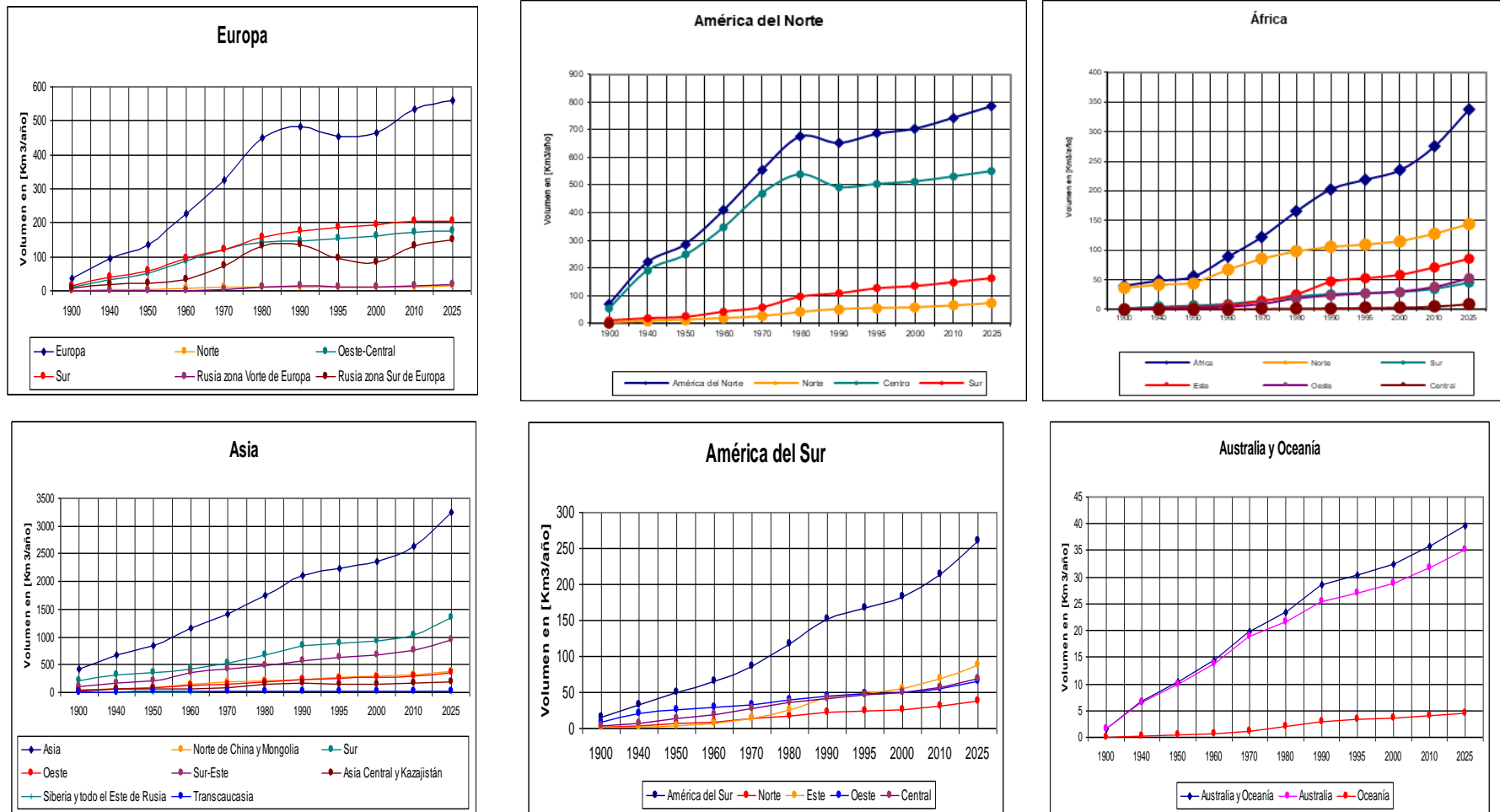
En base a lo anterior las intenciones humanas en cada país son muy obvias, debiendo trabajar en proyectos que permitan transferir recursos hídricos, de regiones aledañas con suficiencia de agua a regiones con insuficiencia de este vital líquido.

Para cubrir los requerimientos de agua, deberemos aplicar tecnologías innovadoras, que permitan el crecimiento económico y la obtención de importantes volúmenes de agua. Tal necesidad está más presente, por lo que muchos países ya han iniciado importantes transferencias de agua de cuencas hidrológicas muy alejadas hacia cuencas hidrológicas con problemas de agua. Para poder realizar estos enormes retos debemos tomar todas las medidas pertinentes para contrarrestar efectos negativos sobre el medioambiente, de tal manera que podamos valorar las consecuencias ecológicas, para seleccionar las alternativas más viables que permitan la ejecución de estas importantes obras, salvando cualquier problema financiero y tecnológico.

En el futuro los cambios climáticos globales por efecto de las acciones antropogénicas y la redistribución del calor y humedad sobre de la tierra, consideran algunos científicos necesarios resolver estas tareas con proyectos a gran escala territorial, así como la redistribución de los escurrimientos. Como se mencionó ya se han iniciado trabajos de evaluación de transferencias de agua de una cuenca hidrológica a otra en los años sesenta y setentas. Al mismo tiempo el conocimiento sobre el cambio climático en el planeta, nos presenta grandes dificultades que deberán considerarse en estos proyectos, ya que estos cambios climáticos pueden cubrir inmensas superficies, inclusive enormes cuencas como las del océano atlántico, océano pacífico y otros. Por

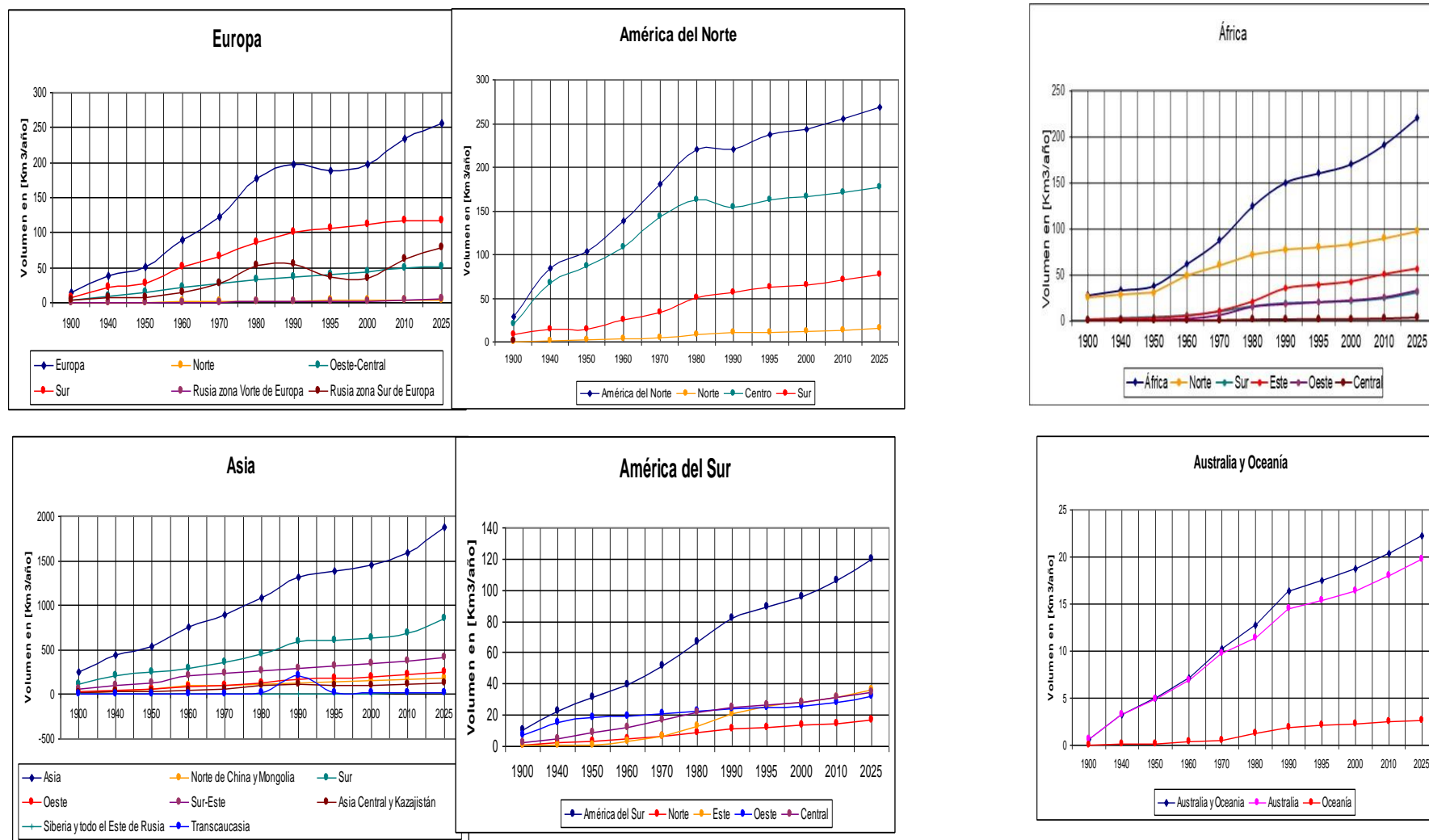
tal motivo se presenta la incertidumbre respecto a los posibles cambios climáticos regionales lo cual complica la planeación de las obras hidráulicas que se requieren para el presente y futuro.

Fig. No. 3.1 Dinámica de la demanda de agua por continente y regiones hidroeconómicas naturales del planeta.



Fuente: Shiklomanov I.A.

**Fig. No. 3.2 Dinámica del uso consuntivo del agua por continente y regiones hidroeconómicas naturales de planeta.**



Fuente: Shiklomanov I.A.

### 3.1.- Uso de aguas salobres y saladas.

En la actualidad los sistemas de desalinización operan en más de 100 países, que se encuentran en diversas condiciones físico-geográficas. Grandes sistemas de desalinización además de cubrir las necesidades de agua para consumo humano, también atienden las demandas del sector industrial, este tipo de agua es empleado principalmente en los países de la península Arábiga, en África del sur, en la zona norte de los Estados Unidos, en el sureste de Italia, en el Golfo Pérsico, en Inglaterra, Alemania, Holanda, así como en diversas islas del planeta.

Una mayor aplicación de la desalinización no se ha podido difundir, debido principalmente a los altos costos para obtener agua dulce, así como por los grandes consumos de combustibles y energía eléctrica. El costo por la desalinización depende principalmente del tipo de tecnología de desalinización y la capacidad de producción de los equipos. Lo anterior se puede apreciar en la **Fig. No.3.3**. Los mayores gastos se requieren para el sistema por el método de destilación, con respecto a otros de 2 a 2.5 veces más. En cualquiera de los métodos los gastos son altos cuando la capacidad instalada es del orden de 10 a 15 mil m<sup>3</sup> al día.

Cuando se emplean potentes sistemas de desalinización mayores a 100 mil m<sup>3</sup>, los gastos para producir 1 Km<sup>3</sup> de agua dulce, poco dependen de la capacidad instalada de desalinización y los costos se incrementan de 600 a 800 millones de dólares, para la destilación y de 240 a 360 millones de dólares por el método de electrolisis y ósmosis inversa.

Hay que mencionar que, para construir sistemas de desalinización, con una capacidad instalada de 500 a 100 mil m<sup>3</sup>/día, es una tarea del futuro.

Actualmente los equipos con mayor capacidad instalada en el mundo varían de 100 a 180 mil metros cúbicos al día.

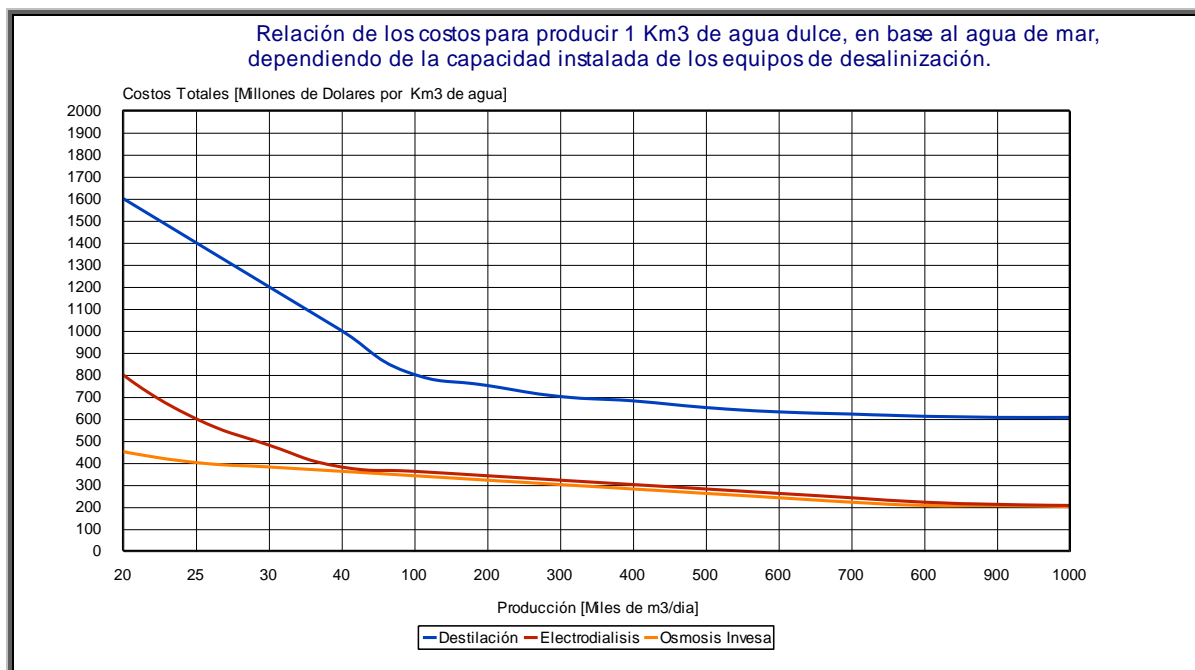
El costo real de los equipos de desalinización dependiendo del gasto de agua a tratar varía como se muestra en la **Fig. No. 3.3**, de tal manera que para un metro cúbico de agua en Arabia Saudita es de 1.7 a 1.8 millones de dólares, por tanto, para un Km<sup>3</sup> de agua desalinizada sería de 1,700 a 1,800 millones de dólares y 0.6-1.2 dólares el metro cúbico (de 600 a 1,200 millones de dólares para obtener un Km<sup>3</sup> de agua), empleando el método de ósmosis inversa extrayendo agua subterránea mineralizada.

Adicionalmente a los altos costos de inversión, para la desalinización de las aguas salobres a gran escala, se requiere una gran cantidad de energía eléctrica, es decir la cantidad suficiente de energía eléctrica para producir un Km<sup>3</sup> de agua dulce, es en promedio de 160-300 Mw (dependiendo del método de desalinización que se selecciona), cuando empleamos el método de destilación, se consumen enormes volúmenes de combustible, de 7 a 9 millones de toneladas para producir un Km<sup>3</sup> de agua dulce. Por lo anterior en la actualidad en muchos países con gran déficit de recursos hídricos se diseñan enormes sistemas de desalinización basándose en la energía atómica y energía solar y eólica. Principalmente se lleva a cabo en aquellos lugares donde se localizan en cuencas cerradas o cercanas a las zonas costeras.

Si partimos de la dinámica de desarrollo en cuanto a la producción de agua dulce, durante los últimos 25 años, se puede considerar que en el año 2000 la producción de agua dulce a partir de la destilación, de aguas salobres y agua subterránea altamente mineralizada, no sobrepasa más de 35 a 55 Km<sup>3</sup> al año. Debemos destacar que en los años sesenta el pronóstico de producción de agua dulce para 1990 eran de 50 Km<sup>3</sup>al año.

### 3.2.- Generación artificial de lluvia en grandes superficies territoriales

Una posibilidad real de obtener volúmenes de agua adicionales, para algunas regiones del planeta, es el de ejercer una activa influencia sobre los procesos atmosféricos con objeto de incrementar las precipitaciones en grandes superficies territoriales.



Fuente: Shiklomanov I.A.

Fig. No. 3.3 Relación de los costos para producir 1 Km<sup>3</sup> de agua dulce, en base al agua de mar, dependiendo de la capacidad instalada de los equipos de desalinización.

Cabe mencionar que hasta el momento no se han estudiado lo suficiente todos los aspectos de este método, a pesar de los veinte años de investigación dedicados en Inglaterra, Estados Unidos, Rusia y otros países. Los trabajos de estimulación de lluvias ya tienen un carácter comercial. Su aplicación práctica ha permitido concluir lo siguiente, bajo determinadas condiciones meteorológicas y con el apoyo de ciertos medios técnicos apropiados, es factible obtener un incremento razonable de lluvias en superficies de hasta 10 mil Km<sup>2</sup>, lo anterior está fundamentado en bases científicas lo que nos hace suponer que se puede incrementar dicha superficie.

Las experiencias a nivel mundial al respecto sobre la estimulación de nubes, para producir agua de lluvia son muy amplias. Desde el punto de vista cuantitativo la efectividad de los experimentos realizados, presuponen obtener buen resultado, no obstante, debido a lo complejo que esto representa, principalmente debido a la variabilidad natural. Para poder evaluar los resultados se incrementan puntos de control, que a partir de los cuales podemos estimar los cambios naturales entre los procesos que generan las lluvias en las zonas experimentales. En los últimos años los científicos han estado organizando experimentos a gran escala, en superficies por arriba de cientos y miles de Km<sup>2</sup>, obtenido lluvias del orden de un 10 a un 12%, los costos por estimulación de lluvias son de 0.1-0.5 centavos de dólar por cada metro cúbico, alcanzando de 1 a 5 millones de dólares por cada Km<sup>3</sup>.

No obstante, hay que reconocer que por el momento la influencia sobre los procesos hidrológicos respecto a la estimulación de lluvias no es muy halagadora, debido a que la estimulación de lluvias por lo general no genera la suficiente lluvia durante el período de estiaje, con lo cual de alguna manera se podrían resolver los problemas de sequías prolongadas en muchas partes del mundo.

### **3.3.- La redistribución territorial de los recursos hídricos como una forma segura para la obtención adicional de volúmenes importantes de agua dulce.**

Analizando diversos caminos para mitigar o eliminar el déficit de agua, que se presenta en muchas regiones del planeta, para poder contar con cierta certidumbre para un desarrollo sustentable, por tanto, analizaremos las ventajas y desventajas al realizar una redistribución territorial del agua.

La redistribución territorial de los escurrimientos, se ha efectuado desde tiempos inmemoriales, en la actualidad ha adquirido mayor atención e impulso y representa una posibilidad real de aplicarse a corto, mediano y largo plazo, en muchas partes del mundo.

La transferencia de escurrimientos de agua de una cuenca hidrológica a otra, está fundamentada en la existencia real de estas, por lo que se hace factible su utilización. Los recursos hídricos disponibles en la tierra son suficientes para poder sustentar cualquier demanda de este recurso durante cientos de años.

Por otro lado, los recursos hídricos de agua dulce en la tierra están distribuidos irregularmente en forma extrema, en cada continente existen regiones con excedentes de agua y regiones donde el agua nunca alcanza.

Las actividades hidroeconómicas del hombre propician un incrementó de esta desigual distribución de los recursos hídricos, es decir en aquellos sitios donde tenemos excedentes poco se utilizan, contrariamente a lo que ocurre en las regiones donde la falta de agua es motivada por las acciones antropogénicas los escurrimientos disminuyen, año con año, agudizando esta situación.

Por lo anterior el hombre deberá implementar los proyectos e infraestructura hidráulica, que permita efectuar las transferencias de importantes volúmenes de agua de una cuenca hidrológica a otra. *Ante todo, primeramente, deberán agotarse las posibilidades de maximizar el uso racional y eficiente de los recursos hídricos de una cuenca, antes de pretender tomar agua de otras cuencas.*

Por lo anterior el futuro dependerá de las medidas que se adopten para cubrir la demanda de agua, basada en las posibilidades técnicas, económicas y fundamentalmente sociales y ecológicas para la transferencia del agua, así como por las dimensiones de estas medidas.

Las consideraciones anteriores, son diversas y específicas, que requieren fuertes inversiones, que incluyen ciertas limitaciones, las cuales pueden ejercer diversos impactos sobre el medio ambiente, todas las medidas para obtener volúmenes de agua adicionales. Por lo anterior es muy difícil proponer una alternativa que no afecte de alguna manera la naturaleza, por lo que *habrá primeramente que mejorar el uso del agua en todas las actividades hidroeconómicas, así como el tratamiento de las aguas residuales y su reuso, antes de considerar otras alternativas.* A continuación, mostramos en el **Tabla No3.1**, la comparación de costos por cada Km<sup>3</sup> de agua.

**Tabla No.3.1 Comparativo de los costos para obtener un Km<sup>3</sup> de agua, por diversos métodos.**

Método para Obtener agua adicional	Costo en millones de dólares por cada Km <sup>3</sup>
Regulación de los escurrimientos por medio de presas de almacenamiento.	50 - 80
Tratamiento de aguas residuales	200 – 1500
Estimulación de nubes	1 – 5
Uso de glaciares	50 – 100
Reconstrucción y modernización de los sistemas de riego.	700 – 900
Desalinización por destilación.	600 – 1600
Desalinización por osmosis inversa	100 – 700
Uso de Iceberg de la Antártica	500 – 700
Redistribución de los recursos hídricos.	100 - 800

Fuente: Klige R.K. y Shiklomanov I.A.

Los precios varían según la región y la época del año por tanto estos precios deberán tomarse únicamente como indicadores.



Cabe mencionar que el volumen que se transfiere de una cuenca hidrológica a otra en el mundo, es dos veces más, que la que se trata por medio de otros métodos, cabe mencionar que se ha iniciado el crecimiento de este tipo de obras a un ritmo acelerado. Por lo anterior podemos mencionar, que, en conjunto con las medidas de regulación de los escurrimientos redistribuidos, es posible garantizar el suministro de agua a grandes regiones, resolviendo simultáneamente otros problemas como es el transporte fluvial, recreación, fuentes de trabajo para la población aledaña, así como otros problemas socioeconómicos ligados a estas obras.

### **3.4.- Tipos, dimensiones y soluciones hidrotécnicas para una redistribución territorial de los escurrimientos superficiales en el planeta.**

#### **3.4.1.- Clasificación y dinámica de las transferencias de escurrimientos de agua superficial de una cuenca hidrológica a otra.**

La redistribución territorial de los escurrimientos superficiales deberá entenderse, como la transferencia de escurrimientos, en su forma más amplia, es decir como la transferencia de volúmenes de agua de cualquier fuente superficial (ríos, embalses, lagos, estuarios [con agua dulce o bien mezclada "dulce-salobre"]), su conducción a través de los ríos, canales, túneles, acueductos y diversos sistemas de rebombado, para entregar el agua hasta donde esta se demanda, con el fin de cubrir el déficit de agua, en los sectores usuarios que más lo requieren. A todo un conjunto de infraestructura de obras hidráulicas para transferir cualquier volumen de agua, se le considera como un Sistema de Transferencia de Escurrimientos de Agua ("STEA"), conocido también como trasvases.

Los tipos de "STEA", y sus características y, por tanto, las de las transferencias intercuenas, varían mucho de una región o país a otro. Las características biofísicas de la cuenca donante y receptora (orografía, edafología, hidrología, ecosistemas, etc.), así como las características técnicas de cada transferencia particular, se combinan de forma específica en cada caso, dando lugar a una gran variedad de esquemas de transferencias diferentes, dependiendo de la relación entre la cuenca donante y la receptora, la longitud de la transferencia, la cantidad transferida, la distribución temporal de los caudales transferidos, el tipo de ruta, etc.

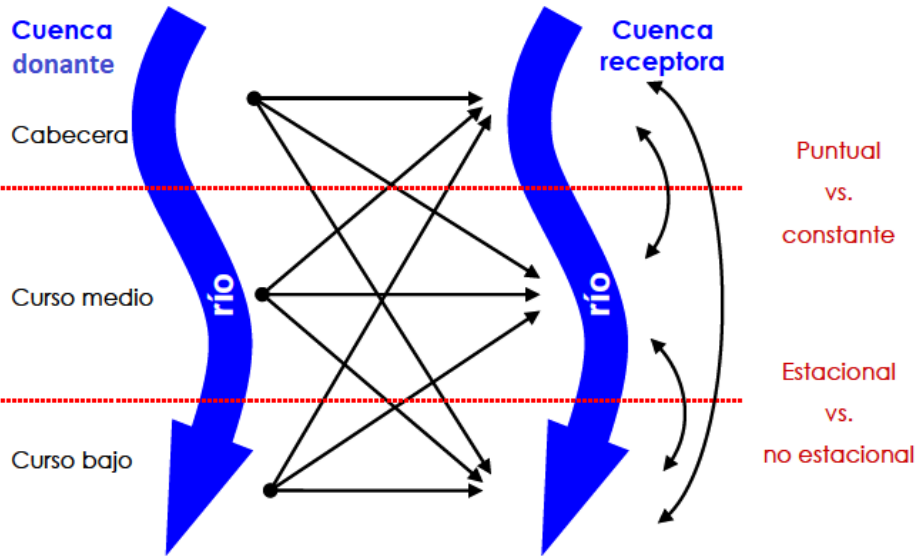
Han sido los trabajos de diversos investigadores (Davies, Thoms y Meador, 1992; Snaddon y Davies, 1997; Snaddon, Davies y Wishart, 1999) los que más esfuerzos han dedicado a la categorización y clasificación de los trasvases, si bien su enfoque ha sido predominantemente, por no decir exclusivamente, ecológico o ecosistémico. Las tipologías de trasvases desarrolladas por estos autores se han basado en los modelos de ecosistemas fluviales conocidos como River Continuum Concept (RCC) y Serial Discontinuity Concept (SDC).

Según el modelo RCC, un río presenta una sucesión continua de características físicas-químicas (continuum) que modulan de forma gradual las comunidades bióticas existentes en dicho ecosistema. Por su parte, el modelo SDC asume que los embalses provocan discontinuidades en el continuum del río, cambiando sus características físico-químicas (y por tanto alterando las comunidades bióticas que en él residen) que no volverán a sus valores anteriores al embalse hasta que haya transcurrido una determinada "distancia de recuperación". Para Davies, Thoms y Meador (1992: 327) los trasvases, al igual que los embalses, interrumpen el continuum del río, provocando numerosos impactos ambientales, tanto en la cuenca cedente como en la receptora.

De acuerdo con estos conceptos, Davies, Thoms y Meador (1992: 326- 327) identifican, inicialmente, quince tipos posibles de transferencias, dependiendo de:

- Que el origen (y el destino) de las aguas trasvasadas sea la cabecera del río, su zona media o su desembocadura.
- Que el trasvase se produzca entre ríos (o afluentes) distintos o dentro del mismo río.

Al añadir otras variables relativas a la estacionalidad del trasvase (estacional o no estacional) y a su distribución temporal (ocasional o constante) las tipologías de trasvases aumentarían hasta los sesenta tipos. En la figura 3.4, se muestra la esquematización de estas tipologías de transferencias.



Fuente: Davies, Thoms y Meador (1992).

Fig. No 3.4 Tipologías de transferencias según Davies, Thoms y Meador (1992)

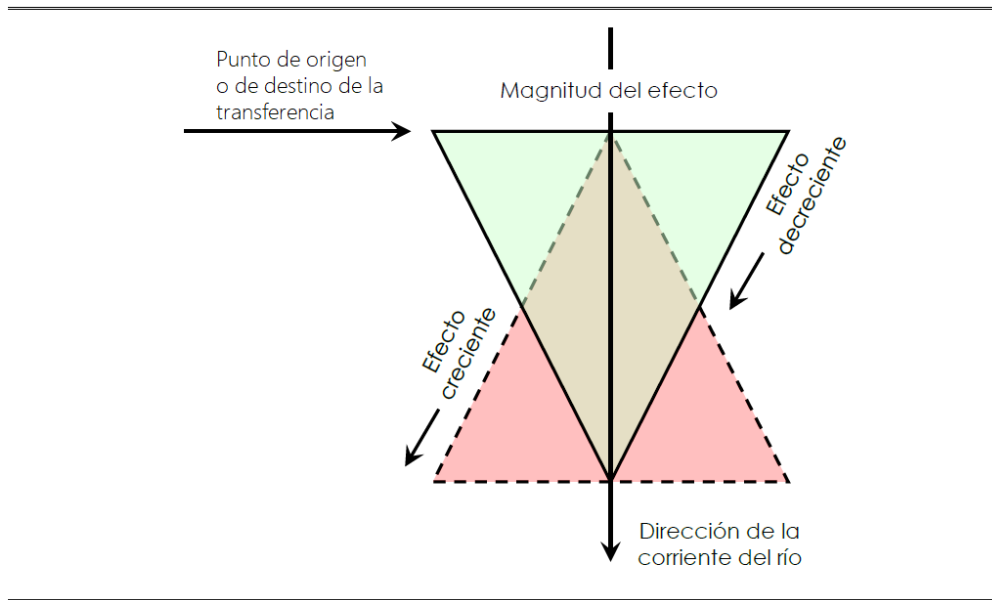
Posteriormente introducen como variables adicionales la infraestructura o lugar de origen y destino del trasvase (un embalse o el mismo río); las cantidades trasvasadas (cuantías anuales y flujos instantáneos); la ruta de transporte (mediante canales, tuberías o utilizando cauces de agua naturales) o el sistema de transporte utilizado (gravedad o bombeos). Añadiendo todas estas variables al esquema inicial, las tipologías de trasvases aumentan a más de ciento veinte, si bien, dado el excesivo número de combinaciones, Snaddon y Davies (1997: 11-12) optan por clasificar los trasvases en cuatro grandes categorías dependiendo únicamente de:

- El método de derivación de las aguas en la cuenca donante.
- La infraestructura o el lugar de recepción en la cuenca receptora.
- El tipo de ruta de transporte.
- De los criterios operacionales.

Por último, Snaddon, Davies y Wishart (1999: 6-7) amplían las variables a tener en cuenta en las rutas de transporte (canales vallados o cubiertos, tuberías enterradas o en superficie, canales y tuberías reversibles o no, etc.), e introducen un par de nuevas variables directamente relacionadas con el modelo SDC antes explicado: la existencia de cierto nivel de recuperación del río, así como los impactos crecientes o decrecientes del trasvase.

Respecto a la recuperación temporal del río, sólo será posible si el trasvase cesa durante un período de tiempo y lo permiten las condiciones hidrológicas. Por otra parte, la evolución creciente o decreciente de los impactos del trasvase y su efecto multiplicador constituyen una cuestión de máxima importancia que se ha esquematizado en la figura 3.5. Por ejemplo, cuando una transferencia introduce especies alóctonas en una cuenca hidrográfica, el efecto es claramente

creciente aguas abajo del trasvase, e incluso agua arriba, y la contaminación por la especie no autóctona puede acabar afectando a la totalidad del curso fluvial y de los ecosistemas riparios o ribereños y de la desembocadura. Por el contrario, el impacto de la aportación de agua trasvasada a otra temperatura a un río determinado será decreciente según nos alejemos del punto de recepción de los caudales trasvasados. Evidentemente, los trasvases con efectos multiplicadores crecientes, como el representado mediante la línea discontinua en la figura 3.5, serán mucho más perjudiciales para el conjunto del ecosistema.



Fuente: Snaddon, Davies y Wishart (1999).

**Fig. No 3.5 Evolución de los efectos de las transferencias.**

Ahora bien, toda esta categorización y tipología de las transferencias está realizada, casi exclusivamente, desde un punto de vista ecológico, tal y como ya habíamos comentado, lo que excluye una gran cantidad de variables que son relevantes de cara al análisis económico que se va a realizar en esta tesis, siendo la más importante de ellas la caracterización de las transferencias como intercuenas o no, ya que nuestro objeto de estudio es el primero.

Además de esta última, a las variables enunciadas por los investigadores sudafricanos habría que añadir un amplio conjunto de variables socioeconómicas, que en algunos casos serán más importantes que las propias variables físicas para determinar los impactos globales de las transferencias.

Algunas de las más relevantes se muestran a continuación:

- Finalidad de las transferencias: agrícola, urbana, industrial, ambiental, etc.
- Relación administrativa entre la cuenca donante y la receptora: dependiendo de las fronteras administrativas entre las que se realice el trasvase podríamos tener trasvases municipales, provinciales, regionales, nacionales o internacionales.
- Tipo de iniciativa, financiación y recuperación de los costes del trasvase: pública, privada o mixta.
- Derechos y situación administrativa de las aguas a transferir y de las aguas transferidas: derechos públicos o privados, desarrollo de nuevos recursos o cambios de la propiedad de los derechos, sistema de adjudicación de los nuevos caudales, etc.

- Tipos de impactos de la transferencia: económicos, ambientales, sociales y políticos.

Además de esta clasificación que hemos estado utilizando hasta el momento, en la que se ha tratado de tener en cuenta todas las posibles características diferenciales relevantes de los trasvases, existen otras clasificaciones que se limitan a estudiar tan sólo algunas de las características antes mencionadas. A continuación, veremos dos de ellas, la creada por Shiklomanov en función de la escala de la transferencia y la enunciada por Blanchon en función de la distribución espacial de las transferencias.

Shiklomanov (1999) ha desarrollado una clasificación de las transferencias en función de su tamaño, construyendo un índice de escala mediante la multiplicación de los volúmenes anuales transferidos (en km<sup>3</sup> por año) y la distancia (en km) a la que se transfieren dichos volúmenes. Para Shiklomanov, la capacidad de la transferencia y su longitud son las principales variables que determinan tanto su coste como su impacto ambiental, por lo que este índice de escala es un buen indicador de los principales problemas e impactos relacionados con el mismo. En la tabla 3.2 se muestra la clasificación de las transferencias según este indicador.

### **Consecuencias e impactos**

Una vez presentadas las causas que justifican la realización de las transferencias en general, los las transferencias intercuenas y sus características y tipologías, analizamos a continuación sus impactos o consecuencias.

Cuando se realiza una transferencia intercuenas, una parte de los recursos hídricos de la cuenca de origen, ya sean superficiales o subterráneos, son extraídos de esta definitivamente en la mayoría de las ocasiones, y se envían a la cuenca hidrográfica receptora. En la cuenca donante, la pérdida de estos recursos conlleva una serie de impactos ambientales, económicos y sociales que, generalmente, son negativos. En el otro extremo, en la cuenca receptora de la transferencia, los nuevos recursos suelen tener efectos positivos, especialmente desde el punto de vista económico, pero tampoco en ocasiones pueden que coexistan con daños ambientales. Además, hay que contemplar los impactos existentes en la ruta de transporte utilizada.

Del balance entre los impactos positivos y los negativos entre cuencas dependerá de la aceptación social de las transferencias. No obstante, la evaluación de los beneficios y los costes de las transferencias es complicada y no siempre se realiza correctamente: por una parte, no siempre se han tenido en cuenta todas las posibles consecuencias; por otra, no siempre se considera a todos los grupos sociales afectados por las transferencias; y por último, muchos de los beneficios y los costes de las transferencias no son fácilmente medibles en términos monetarios, lo que dificulta su comparación.

De este modo, durante gran parte del siglo XX, en cuanto a beneficios, en la mayoría de las transferencias sólo se han tenido en cuenta los intereses de los usuarios beneficiados por el agua transferida (agricultores, consumidores urbanos y empresas hidroeléctricas) y se han ignorado los efectos ambientales de las transferencias, los impactos en las cuencas de origen o el interés del público en general. Por ejemplo, en el libro *Water Transfers in the West*<sup>18</sup> (National Research Council, 1992), se reconoce que en muchas ocasiones los intereses de las terceras partes afectadas no se han tenido en cuenta suficientemente, afirmando que el sector público debería instrumentar mecanismos para que se internalicen en los procesos de negociación y decisión sobre de las transferencias.

En la tabla 3.2 se muestra la gran cantidad de factores a considerar a la hora de evaluar las transferencias en EE.UU., lo que ilustra el grado de dificultad de dicha tarea.

**Tabla No 3.2 Actores a considerar para evaluar las transferencias de escurrimientos de agua**

<b>Tipo de transferencia</b>	<b>Impacto sobre terceros</b>
Cambio en la propiedad	Medio ambiente
Desvío del caudal	Usos en el río
Cambio en el uso	Uso recreativo
Cambio en la gestión	Pesca y vida salvaje
Trasvase fuera de la cuenca	Hidroelectricidad
	Calidad del agua
	Daños a usuarios del agua
	Salud humana
<b>Motivo principal de la transferencia</b>	Afecciones a los ecosistemas
Voluntario	Protección ecosistemas
Involuntario	Especies amenazadas
	Humedales
	Hábitat ribereño
<b>Impulso principal de la transferencia</b>	Estuarios
Gobierno	Intereses urbanos
Local	Restricciones trasvases intraestatales
Estatad	Cambios en status de exenciones fiscales
Ejecutivo	Contribuyentes federales
Legislativo	Interés económico nacional
Judicial	Beneficios inesperados
Federal	Otros propietarios de derechos
Ejecutivo	Derechos recientes
Legislativo	Derechos antiguos
Judicial	Pérdida de flexibilidad
<b>Impacto sobre terceros</b>	<b>Naturaleza de los efectos</b>
Comunidades Rurales	Económicos (nacional/regional)
Servicios de apoyo	Pérdida de ingresos
Disminución base impositiva	Pérdida de oportunidades
Pérdida de recursos naturales	Nuevos ingresos
Agricultura	Ambientales
El resto de usuarios de las aguas	Pesca y vida salvaje
Reasignación de derechos	Actividades recreativas
Comunidades étnicas y tribus indias	Calidad del agua
Comunidades étnicas	Humedales
Comunidades indias	Sociales
Mantenimiento y expansión agraria	Comunidades rurales
Otros	Municipios
	Otros

Fuente: Aguilera (1992: cuadro 2, p. 452).

Realizando un breve repaso por la literatura especializada, la mayoría de los autores reconocen que las transferencias provocan, al menos, tres grandes grupos de impactos: los ambientales, los económicos y los sociales (National Research Council, 1992). No obstante, dependiendo del autor, pueden identificarse grupos de impactos ligeramente distintos e incluso alguno adicional. Por ejemplo, Biswas (1979) habla de cuestiones técnicas, socioeconómicas, políticas, legales y ambientales, mientras que Snaddon, Davies y Wishart (1999), además de los impactos ambientales, mencionan los socioeconómicos, los culturales, los estéticos y los políticos.

Desde nuestro punto de vista, los principales impactos de los trasvases intercuenas se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: 1) económicos, 2) ambientales, 3) sociales y 4) políticos.

Las consecuencias ambientales derivan de los cambios en los ecosistemas provocados por el trasvase físico de los recursos hídricos, y se producen tanto en la cuenca cedente como en la receptora. Las económicas se deben a la pérdida de rentas presentes y futuras en la cuenca

cedente asociadas a un recurso productivo y a su transferencia hacia la cuenca receptora. Las consecuencias sociales, que se producen en ambas cuencas, pueden tener un doble origen: por una parte, pueden estar motivadas por los efectos en la sociedad que tengan las consecuencias económicas de los trasvases; por otra, a la percepción del agua como un bien diferente, como un activo ecosocial que ha configurado la cultura y los valores de las poblaciones a lo largo de la historia (Aguilera, 1999). Finalmente, las consecuencias políticas de las transferencias están relacionadas con las disputas por el control los recursos hídricos entre administraciones, usuarios, lobbies, etc.

La combinación de las tres primeras categorías de impactos, junto con los diferentes grupos de afectados (que lo son en distinta medida) y su ubicación geográfica, ya sea en la cuenca cedente, en la cuenca receptora o en las regiones por donde transcurren las infraestructuras de transporte, provocan un complejo entramado de intereses que, casi inevitablemente, suscita encendidas y apasionadas polémicas entre los afectados.

Y estas fuertes controversias son las que provocan la entrada en escena de las cuestiones políticas. Por un lado, podríamos tener conflictos entre los distintos niveles de Administración, ya que podría ocurrir, por ejemplo, que la Administración central aprobase un trasvase en contra de los gobiernos autonómicos o locales. Incluso dentro de un mismo nivel de la Administración, podría haber organismos a favor y en contra de la transferencia, ya que cada organismo tendrá asignados objetivos y responsabilidades diferentes.

Finalmente, la importancia que la sociedad y la opinión pública le concede a las cuestiones relacionadas con las infraestructuras hídricas hace que sean una bandera de enganche ideal para los políticos de las regiones afectadas.

A continuación, pasamos a analizar con mayor profundidad los cuatro grupos de impactos enunciados. Una descripción detallada de los impactos reales de casos concretos de transferencias intercuenas puede verse en Snaddon, Davies y Wishart (1999), mientras que Golubev et al. (1979), ofrecen una amplia bibliografía sobre la problemática de los trasvases interregionales de agua.

### **Ambientales**

Los impactos ambientales son las consecuencias más inmediatas y, en muchos casos, las más fácilmente apreciables de las transferencias. Sin embargo, su consideración en evaluación de las transferencias data de la década de los sesenta, y no se han tenido en cuenta de forma generalizada hasta la década de los setenta, a raíz de la aprobación en 1969 de la National Environmental Policy Act (Ortolano, 1979: 159) como consecuencia de una cada vez mayor conciencia ambiental. Esta ley estadounidense obligaba a todas las agencias federales, que eran las principales responsables de la construcción de la infraestructura hidráulica, a realizar evaluaciones de impacto ambiental en todas sus actuaciones.

Cuando se extrae un volumen significativo de agua de un río o un lago se producen cambios en los ecosistemas de los que forma parte. Un ecosistema está formado por un conjunto de elementos bióticos y abióticos que se interrelacionan entre sí. Cuando se modifican las condiciones de los elementos abióticos, como el agua, por ejemplo, los seres vivos del ecosistema tienen que adaptarse a las nuevas condiciones, y no todas las especies lo consiguen. El conjunto de cambios en los elementos físicos y en los seres vivos puede provocar la creación de un nuevo ecosistema que, aunque no necesariamente, puede ser esencialmente distinto del anterior. Cuando el ecosistema inicial, creado por la naturaleza, posee un valor especial debido, por ejemplo, a su excepcionalidad, los impactos provocados por las detracciones suponen una importante pérdida en términos ecológicos.

En la tabla 3.3 se muestran las variables que pueden ser afectadas por las transferencias, detallando especialmente las medioambientales, entre las que se diferencian las que afectan al sistema físico o abiótico y al sistema biológico o biótico. Estos efectos ambientales se producen tanto en la cuenca donante como en la receptora y, en menor medida, en las cuencas o ecosistemas por las que transcurre la transferencia.

**Tabla No 3.3 Variables afectadas por las transferencias de escurrimientos de agua**

<p><b>I. SISTEMA FÍSICO</b></p> <p><b>(a) Cantidad de agua</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Niveles</li> <li>Caudales</li> <li>Velocidad</li> <li>Aguas subterráneas</li> <li>Pérdidas</li> </ul> <p><b>(b) Calidad del agua</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sedimentos</li> <li>Nutrientes</li> <li>Turbiedad</li> <li>Salinidad y alcalinidad</li> <li>Efectos en la temperatura</li> <li>Compuestos tóxicos</li> </ul> <p><b>(c) Consecuencias para la tierra</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Erosión</li> <li>Sedimentación</li> <li>Salinidad</li> <li>Alcalinidad</li> <li>Anegación</li> <li>Cambios en los patrones de uso del suelo</li> <li>Cambios en los contenidos de minerales y nutrientes del suelo</li> <li>Inducción a terremotos</li> <li>Otros factores hidrogeológicos</li> </ul> <p><b>(d) Atmósfera</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatura</li> <li>Evapotranspiración</li> <li>Cambios en los microclimas</li> <li>Cambios en el macroclima</li> </ul>	<p><b>II. SISTEMA BIOLÓGICO</b></p> <p><b>(a) Acuático</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fauna bentónica</li> <li>Zooplancton</li> <li>Fitoplancton</li> <li>Peces y vertebrados acuáticos</li> <li>Plantas</li> <li>Vectores de enfermedades</li> </ul> <p><b>(b) Terrestre</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Animales</li> <li>Vegetación</li> <li>Pérdida de hábitats</li> <li>Mejora de hábitats</li> </ul>
	<p><b>III. SISTEMA HUMANO</b></p> <p><b>(a) Producción</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Agricultura</li> <li>Acuicultura</li> <li>Hidroelectricidad</li> <li>Transporte (navegación)</li> <li>Manufacturas</li> <li>Ocio</li> <li>Minería</li> </ul> <p><b>(b) Socioculturales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Costes sociales, incluyendo realojamiento de gente</li> <li>Desarrollo de infraestructuras</li> <li>Efectos antropológicos</li> <li>Consecuencias políticas</li> </ul>

Fuente: Biswas (1983).

De los impactos que ocurren en la cuenca donante podríamos destacar el deterioro de la calidad de las aguas como consecuencia de la disminución de caudales. En la cuenca receptora, uno de los problemas más graves es la introducción de especies animales o vegetales autóctonas, que pueden acabar expulsando o alterando la fauna y la flora nativa.

Como efecto positivo en la cuenca donante podría mejorar la calidad de las aguas al aumentar los caudales, si bien, para que esto ocurra, las aguas transferidas deberían ser de una calidad por lo menos igual a las de la cuenca receptora.

Para un conocimiento más profundo de los impactos ecológicos o medioambientales de las transferencias, se puede recurrir a Snaddon, Davies y Wishart (1999: 60-88).

### **Económicas**

Los impactos económicos asociados a las transferencias intercuenas son muy distintos en la cuenca donante y en la cuenca receptora, e incluso, en muchas ocasiones acaban afectando a los contribuyentes que residen fuera de las regiones implicadas en la transferencia.

En la cuenca donante, los impactos económicos suelen ser negativos y se deben, principalmente, a la pérdida de un recurso productivo, lo que supone una pérdida de sus rentas y empleos asociados (National Research Council, 1992: 45-49). Además, los efectos no se producen solamente en aquellas actividades económicas donde se usa el agua como una entrada directa del proceso productivo, como la agricultura o el turismo, sino que puede afectar indirectamente al conjunto de la economía de la región si los sectores consumidores de agua se ven afectados por la disminución del recurso. La pérdida generalizada de actividad económica también repercutirá negativamente en la prestación de servicios públicos, puesto que la Administración verá reducidos sus ingresos fiscales.

Además, los efectos económicos negativos de la transferencia no se limitan al corto plazo, ya que unos recursos hídricos escasos de cara al futuro podrían reducir el atractivo de la zona para inversiones productivas, lo cual podría tener consecuencias a largo plazo (National Research Council, 1992: 45-48).

Por el contrario, la cuenca receptora de las aguas transferidas recibe los recursos hídricos y las rentas asociadas a ellos, iniciándose una espiral creciente de actividad económica, empleo y renta. Ahora bien, habría que valorar si estos beneficios justifican el coste de las transferencias.

Sin embargo, todavía existe un tercer grupo afectado económicamente por la realización de la transferencia: los contribuyentes de las zonas no implicadas en el mismo (National Research Council, 1992: 63). La construcción de infraestructuras hidráulicas es muy costosa en términos económicos, con lo que, frecuentemente, la Administración Pública financia y/o subvenciona la realización de estas obras, incurriendo en unos costes de oportunidad importantes y viéndose obligada a incrementar la presión fiscal.

Además, el período de amortización de estas infraestructuras es muy largo, entre 25 y 50 años usualmente, por lo que, aun en el caso de que no existiese subvención, la recuperación de los costes de inversión por parte del sector público, que debería ser sufragada por los usuarios, se produce a largo plazo, restando recursos al erario público.

### **Sociales**

Como ya hemos comentado con anterioridad, las afecciones sociales pueden tener un doble origen. En primer lugar, son afecciones sociales las derivadas de las consecuencias económicas de las transferencias, puesto que estas últimas pueden llegar a alterar las dinámicas sociales, de ahí que muchos autores las cataloguen en consecuencias socioeconómicas (Biswas, 1979: 84 y Snaddon y Davies, 1997: 45). Por otra parte, los pueblos tienen fuertes lazos culturales con los recursos hídricos de su zona, por lo que, privarlos de ellos, puede tener consecuencias sociales negativas, provocando una resistencia y oposición enconada a las transferencias en general, y no sólo exclusivamente a las transferencias intercuenas.

En la cuenca receptora, por el contrario, el desarrollo económico generado por la transferencia podría tener efectos sociales positivos, si bien, habría que valorarlos a la luz de los impactos sociales negativos causados en la cuenca donante teniendo en cuenta consideraciones redistributivas, de equidad e incluso éticas y morales.

### **Políticas**

Por último, tenemos las consecuencias políticas de los trasvases de agua, que en muchas ocasiones son las más complicadas de resolver (Biswas, 1979: 88).

La fuerte implicación emocional de las personas en relación con sus recursos hídricos provoca que las cuestiones políticas que tratan sobre ellos tengan un seguimiento masivo por parte de la población.

Si a este hecho le unimos la existencia de diferentes niveles de responsabilidad en la Administración Pública, junto con una falta de coincidencia de los límites administrativos con los hidrológicos, las posibilidades de diálogo y de logro de acuerdos atendiendo a cuestiones objetivas y racionales es bastante remota, tal y como podemos comprobar actualmente en relación con la ley de aguas nacionales.

### **Condiciones de viabilidad**

Una vez realizada la evaluación cuantitativa y cualitativa de los efectos de las transferencias descritos anteriormente, se debería tomar la decisión de llevar a cabo, o no, una determinada transferencia. Teniendo en cuenta únicamente los efectos económicos cabrían esperar la aprobación de aquellas transferencias con beneficios superiores a sus costes. No obstante, los costes no económicos (externalidades), los ambientales y sociales, de este tipo de infraestructuras, así como los impactos que generan, son tan elevados que la mera rentabilidad económica no es



suficiente para que sea conveniente aprobarlos. En consecuencia, en la literatura científica se han propuesto varios criterios para dilucidar esta cuestión.

### **Criterios para la aprobación de transferencias en intercuenas**

Dada la importancia y magnitud de este tipo de actuaciones, en 1973 la National Water Commission de EE.UU. estableció, a modo de salvaguarda, tres criterios que las transferencias de escurrimientos de agua debían cumplir necesariamente para poder llevarse a cabo (Domokos, 1976; 117-118):

- El criterio del menor coste: de la transferencia en intercuenas tiene que ser la forma más barata de adquirir el suministro de agua necesitado.
- El criterio de los beneficios: los beneficios generados por la transferencia en la cuenca receptora tienen que exceder los costes totales de la transferencia más los beneficios netos que esa agua hubiera generado en la cuenca cedente.
- El criterio de la inversión productiva: la productividad neta del agua transferida tiene que ser superior a la productividad de inversiones alternativas.

La primera de las condiciones implica la necesidad de evaluar las medidas alternativas para obtener los mismos recursos hídricos que con la transferencia, incluyendo las medidas de mejora de eficiencia, evitando el derroche de un recurso valioso. La segunda es la típica medida de rentabilidad económica propiamente dicha, donde se tienen en cuenta los costes de oportunidad en los que incurre la cuenca donante al realizar la transferencia. Finalmente, el tercer criterio evalúa la rentabilidad de la transferencia en comparación, no ya con otras alternativas de obtención de los recursos hídricos, sino con otras alternativas de inversión en general.

En caso de que las transferencias en intercuenas no se dediquen a necesidades básicas como el abastecimiento de la población, sino para inversiones productivas, parece claro que aplicar estos criterios garantizará la existencia de un beneficio económico neto positivo para la sociedad y un empleo eficiente de los recursos en términos económicos.

Sin embargo, Howe y Easter (1971: 168) llegaron a la conclusión de que las transferencias en intercuenas no eran rentables en general, desde un punto de vista económico, y que sólo bajo ciertas condiciones muy concretas, en lo que se vino a llamar una "operación de rescate" para evitar la desaparición de cultivos de regadío, su rentabilidad económica era suficiente para llevarlo a cabo. Ahora bien, apenas tres años después Cummings (1974: 103) llega a la conclusión de que la operación de rescate, en el sentido de Howe y Easter, del proyecto del noroeste en México, tampoco era rentable. Un cuarto de siglo después, Holland y Moore (2001) evalúan desde un punto de vista económico la realización del Central Arizona Project (CAP) para la agricultura del Estado de Arizona, llegando a la conclusión de que fue peor construir el CAP cuando se hizo (1987) que no haberlo construido nunca (Holland y Moore, 2001: 30).

Mientras que los estudios de Howe y Easter y Cummings fueron análisis ex ante, el de Holland y Moore se realizó cuando el Central Arizona Project llevaba casi una década en funcionamiento y ya se habían producido las primeras quiebras de distritos de riego. Este hecho venía a confirmar la validez de los resultados de las evaluaciones económicas sobre la transferencia realizadas ex ante, tal y como veremos en el apartado II.1.3.

En 1986, MacDonnell y Howe (1992: 187) sustituyen el tercer criterio de la National Water Comisión por un criterio distributivo, donde se requiere que ningún grupo social de la cuenca donante quede en peor situación de la que estaba antes de la transferencia, es decir, que la cuenca donante se mantenga en un óptimo paretiano. Este criterio significa el comienzo del reconocimiento de los derechos de la cuenca donante.

Desde entonces, los criterios utilizados para evaluar las transferencias en intercuenas han experimentado una doble evolución: por un lado, han pasado a considerar de forma explícita que la cuenca donante tiene ciertos derechos, por lo menos morales, sobre las aguas trasvasadas, por lo que la cuenca receptora deberá compartir los beneficios de la transferencia con ella; por el otro, se

ha pasado a formular criterios de evaluación sobre todos los aspectos afectados por la transferencia: económicos (eficiencia y equidad), ambientales y socioculturales.

Siguiendo a Cox (1999b: 176), los criterios de evaluación para determinar si una transferencia está justificada, en función de los distintos tipos de impactos, serían los cinco siguientes:

Impactos en la productividad económica:

- Criterio 1: la cuenca receptora debe presentar un déficit substancial presente o futuro una vez tenidas en cuenta todas las alternativas posibles de suministro y de reducción del consumo de agua.
- Criterio 2: el desarrollo de la cuenca donante no debe verse limitado por la escasez de recursos hídricos, a no ser que haya una compensación adecuada.

Impactos en la calidad ambiental:

- Criterio 3: es necesario realizar una evaluación de impacto ambiental de la transferencia tanto en la cuenca donante como en la receptora, asegurándose, con un grado de certidumbre razonable, de que no se degrada la calidad de las aguas, a no ser que haya una compensación adecuada.

Impactos socioculturales:

- Criterio 4: es necesario realizar una evaluación del impacto sociocultural de la transferencia, tanto en la cuenca donante como en la receptora, asegurándose de que no produzcan desequilibrios socioculturales, a no ser que sean compensados adecuadamente.

Distribución de los beneficios:

- Criterio 5: los beneficios netos de la transferencia tienen que ser compartidos equitativamente entre la cuenca donante y la receptora.

En definitiva, los nuevos criterios para la evaluación de las transferencias en intercuenas tienen en cuenta todos sus posibles efectos, y no sólo los económicos, aceptando impactos negativos sólo en caso de que sean compensados.

### **La experiencia internacional en transferencias en intercuenas**

La distribución heterogénea de la población y la actividad económica respecto a los recursos hídricos superficiales es más bien la norma que la excepción, motivo por el cual se han construido transferencias en intercuenas en todo el mundo, proliferando especialmente a lo largo del siglo XX debido a las mejoras de las técnicas constructivas. Teniendo en cuenta el análisis de algunos de los casos más relevantes de la experiencia internacional que se describen a continuación.

Para un manejo más eficiente de los recursos hídricos, a través del tiempo el hombre ha venido efectuando diverso tipo de obras hidráulicas, con objeto de redistribuir los recursos hídricos para aprovechar el agua de los lagos, ríos y otras fuentes de abastecimiento de agua, para aplicarse en la agricultura, abastecimiento de agua a centros de población y transporte fluvial e industrial, generación de Hidroenergía, así mismo desde que surgió la necesidad de proteger los centros de población y áreas productivas de las inundaciones, se iniciaron los desvíos de grandes volúmenes de agua, que se generan durante las avenidas en la parte alta y media de las cuencas hidrológicas, con el paso del tiempo, se ha incrementado la complejidad de los Sistemas de Transferencia de Escurremientos de Agua "STEA", por lo que deben de manejarse y aprovecharse en forma integral los recursos hídricos, debido al crecimiento y/o agotamiento de las fuentes actuales de agua, se han ido incrementando los volúmenes de agua a transferir debiendo salvar enormes distancias. Por lo anterior surgen una serie de problemas debido a la construcción de los "STEA", los cuales se refieren a la influencia que se ejerce sobre el medio ambiente, por tal motivo deben tomarse las medidas pertinentes para disminuir los posibles efectos negativos en el medio ambiente.

La redistribución de los escurrimientos se complementa con la regulación temporal o multianual del agua en las presas de almacenamiento, esto nos permite hacer un uso y aprovechamiento integral de los recursos hídricos, no solamente donde se cuenta con este tipo de infraestructura, si no también él poder asegurar el suministro de agua a regiones con un déficit o carencia total de este vital líquido, mejorando al mismo tiempo la calidad del agua subterránea y superficial. Gran variedad de "STEA" de enormes dimensiones contemplan el transporte fluvial, la redistribución interno anual en las presas de almacenamiento, con lo cual podemos obtener un mayor control gracias a la elaboración de políticas de operación de la infraestructura hidráulica en grandes regiones. Este manejo se da en el tiempo y en el espacio.

Realmente en muchos países se diseñan, operan y construyen una gran cantidad de sistemas hídricos de diversa capacidad, con objetivos específicos, con soluciones técnicas muy innovadoras y bajo condiciones fisiográficas muy variadas en el mundo, donde se ubica la infraestructura hidráulica de "STEA".

Para una mayor factibilidad de las obras, se han realizado y se realizan investigaciones hidrológicas relacionadas con la redistribución territorial de los escurrimientos. También en forma simultánea deben realizarse pronósticos de una posible influencia sobre el medio ambiente, evaluando los costos socioeconómicos correspondientes, debiendo sistematizar toda una gama de criterios (indicadores) que nos permitan evaluar cada alternativa de los "STEA".

#### **3.4.1.1.- Criterio hidrográfico.**

Las características de la redistribución del agua entre cuencas hidrológicas, podemos señalar los siguientes tipos de "STEA" locales, dentro de una misma cuenca hidrológica, entre cuencas hidrológicas y regiones hidrológicas.

Respecto a los "STEA" locales, que se realizan en una misma cuenca generalmente los volúmenes de agua a transferir no son muy grandes. Estos volúmenes de agua como sabemos, se toman directamente de los ríos para distribuirse en las zonas de riego y para el suministro de agua potable a centros de población. Este tipo de redistribución territorial de los escurrimientos superficiales tiene lugar en la gran mayoría de las regiones áridas con sistemas de riego intensivo.

Aquí podemos incluir los drenes que conducen las aguas de retorno de las zonas de riego, con problemas de niveles freáticos someros y estancamiento de agua, donde se implementan sistemas de drenaje vertical y horizontal por donde se desaloja el agua freática producto del sobre riego, en algunos lugares esta agua, se descarga en la corriente superficial más cercana.

La transferencia de agua local, se refiere al suministro de agua de corrientes superficiales de zonas con problemas de déficit de agua, en su propia cuenca o bien la conducción de agua excedente de algunas zonas de la cuenca que presentan riesgos de inundación.

La longitud de las transferencias locales de agua generalmente no sobrepasa de 100 a 200 Km. con relación a este tipo de transferencias podemos mencionar, los canales principales de riego como los construidos en China, la India, Pakistán y otros países, donde se inició el desarrollo de la agricultura, los acueductos representan una forma de conducir agua dulce a grandes centros de población como las ciudades de Londres, San Francisco, Berlín, Singapur, México (Sistema Cutzamala-Ciudad de México, Chicbul-Isla del Carmen, Río Colorado-Tijuana, Lerma, El Cuchillo-ciudad de Monterrey, Linares-Monterrey, Monterrey-Río Tampoan-Cerro Prieto, Querétaro II, Presa el Realito, Chapala-Guadalajara, Uxpanapa-La Cangrejera, Presa Vicente Guerrero-Ciudad Victoria y Presa de Benito Juárez-Salina Cruz, Presa Paso Ancho-Oaxaca) y muchas otras.

La transferencia de escurrimientos en una misma cuenca hidrológica, así como la redistribución territorial de los escurrimientos al interior de una misma cuenca, a la cual descargan aportes de cuerpos de agua superficiales, lagos, esteros y al mar, localizados dentro de sus límites. Para este tipo de transferencias, es característico el uso de los recursos hídricos en actividades hidroeconómicas, sus descargas de aguas residuales también se reciben en la misma cuenca, gran cantidad de ejemplos similares se tienen prácticamente en todas partes del mundo.

Las transferencias de escurrimientos entre cuencas hidrológicas, se relacionan con el tipo de transferencias regionales, al respeto podemos mencionar que la redistribución territorial de los

escurrimientos se da a partir de un análisis climático e hidrológico entre una cuenca o más, ya que debemos estimar la cantidad de volumen de agua que se puede transferir sin daños a la cuenca donante. Adicionalmente participan otro tipo de criterios, como el administrativo, socioeconómico, ecológico y legal. La longitud de las transferencias es muy variable desde unas cuantas decenas de kilómetros, hasta más de mil kilómetros. Transferencias de este tipo, se tienen ejemplos en muchas partes del mundo.

Por las condiciones físico-geográficas en las regiones hidrológicas, de donde se tomarán los escurrimientos que se desean transferir hacia otras regiones hidrológicas, les podemos denominar transferencias interregionales. Como podemos observar las transferencias pueden ser también interestatales e internacionales, cuando se trate de cuencas hidrológicas que comparten dos naciones o más, tales son los casos entre Canadá, Estados Unidos, México y Guatemala, así como los países que se encuentran a lo largo del río Rhin o Danubio, los cuales comparten cuencas hidrológicas que tienen su origen en un país y descargan en otro país.

Entendemos por criterios Político-Administrativos, a todos aquellos tipos de transferencias de escurrimientos arriba mencionados, los cuales pueden ser interestatales (nacionales), que no sobrepasan los límites de un país, e internacionales que realizan un intercambio de volúmenes de agua entre dos o más naciones. Por ejemplo, en los años sesenta se efectuaron transferencias entre los Estados Unidos de Norte América y Canadá.

Para determinados objetivos podemos mencionar que la transferencia de escurrimientos, se efectúa para cubrir las demandas de agua en centros de población, transporte fluvial, hidroenergía, obras de alivio en zonas de alto riesgo por inundaciones, así como obras para el drenaje en zonas con excedentes de humedad, adicionalmente a la construcción de muchas otras obras que formen parte de proyectos integrales que tratan de resolver problemas regionales.

Una de las principales características de los sistemas de transferencia de escurrimientos, es el volumen que se transfiere y la distancia a la cual deberá enviarse dicho volumen de agua. Por otro lado, desde el punto de vista de la complejidad técnica y de ingeniería de los sistemas, lo representa su costo, así como las implicaciones ambientales.

Los tipos de transferencias requieren una clasificación, refiriéndolos a unos indicadores que consideren los resultados obtenidos por la transferencia anual de agua dado en  $\text{Km}^3$  anuales, a todo lo largo de la línea de conducción de dicha transferencia en kilómetros. ( $W \times L = \text{Km}^3/\text{año} \times \text{Km}$ ). Si tomamos en cuenta estos indicadores podremos efectuar una clasificación de las transferencias de agua, según sus dimensiones tal como se muestra en la **Tabla No3.2**.

**Tabla No.3.2 Clasificación de transferencias de agua.**

Dimensiones de la Transferencia	Volumen de transferencia W [ $\text{Km}^3$ / anuales]	Longitud de la línea principal de transferencia. L [Km.]	Indicador de dimensión de la transferencia W x L [ $\text{Km}^3$ / anuales x Km.]
Pequeña	< 1	< 100	< 100
Mediana	1 – 2.5	100 - 400	100 – 1000
Grande	2.5 - 5	400 - 1000	1000 – 5000
Muy Grande	5 - 10	1000 - 2500	5000 25000
Extra grande	> 10	> 2500	> 25000

Fuente: Klige R.K. y Shiklomanov I.A.

En la actualidad la mayoría de las transferencias de escurrimientos que se realizan en el mundo, son obras de pequeño y mediano rango, donde su principal objetivo es el suministro de agua a las zonas de riego y centros de población. Bajo este análisis cualquier canal de riego de grandes dimensiones representa propiamente en sí una transferencia local de agua, así como las líneas de conducción de agua. El sustento científico para este tipo de transferencias y su impacto en el

medio ambiente, por lo general se analizan dentro del marco de los problemas generales, para un sistema de riego y red de distribución de agua potable, que tanto se ven afectados los recursos hídricos de la cuenca hidrológica en el caso específico que se trate.

Adicionalmente a la gran cantidad de pequeños "STEA", también podemos mencionar a todos aquellos "STEA" que dentro de su propia cuenca hidrológica y entre dos o más cuencas hidrológicas, se interconectan por medio de corrientes fluviales, líneas de conducción de agua potable, muchos de estos sistemas han estado operando exitosamente por más de 100 años. Construidos en su momento en regiones con exceso de humedad, en la mayoría de los casos se unen con algunos sistemas fluviales alcanzando considerable longitud. El volumen de agua redistribuido en los canales de transporte fluvial, está controlado por la operación de complejos sistemas de esclusas. Este tipo de transferencia de escurrimientos de agua a pesar de efectuarse entre cuencas hidrológicas, no causa considerables efectos sobre el medio ambiente, no obstante, de no ser pequeñas transferencias.

Los "STEA" de grandes dimensiones, que se han estado construyendo principalmente desde la segunda mitad del siglo veinte, al mismo tiempo se propusieron y se dio inició a los proyectos ejecutivos de "STEA" de grandes dimensiones, para la redistribución de los recursos hídricos, que incluyen enormes sistemas integrales de aprovechamiento de aguas provenientes de otros países, como ya mencionamos tal es el caso de Estados Unidos, Canadá y México, así como en la India, en Rusia se analizó la posibilidad de un "STEA", que pretende tomar en forma parcial parte del volumen de agua de los ríos del norte de Siberia, dirigidos hacia el mar de Aral, así mismo se transfieren volúmenes de agua del río Yang Tze Kiang, en las regiones del norte de China y otros.

En las últimas decenas de años las dimensiones de las transferencias de escurrimientos considerablemente se han incrementado, cambiando su carácter cualitativo. Los "STEA" tienen un carácter de objetivos múltiples, técnicamente complejos, además el término de transferencia de escurrimientos entre cuencas, ha cambiado por el de entre regiones. Los análisis realizados a los proyectos existentes nos muestran que para el año 2000, se esperaba un incremento de las dimensiones de los sistemas de transferencia de escurrimientos "STEA", es decir en volumen y longitud (WL), en consecuencia, se incrementan los costos de estos sistemas, así como el significado socioeconómico y una mayor intensidad de presión sobre los sistemas ecológicos.

**En la figura 3.6** se muestra el esquema de distribución de los "STEA" en operación, en construcción y en proyecto en diversas regiones del planeta, respecto de los "STEA" en operación desde 1985, de estos 24 "STEA" su capacidad está dentro de los rangos de 1 a 2.5 Km<sup>3</sup>/ año, 19 "STEA" se encuentran en el rango de 2.5 a 5 Km<sup>3</sup>/ año, 9 "STEA" se encuentran en el rango de 5 a 10 Km<sup>3</sup>/ año, un solo sistema de transferencia de escurrimientos se encuentra en proyecto en Canadá "Gemís - BEI", en el año de 1998 se transferían cerca de 50 Km<sup>3</sup>/ año, de los ríos Istmein, Kaniapisco y La Grand, se considera que a finales del primer cuarto de siglo 21, la cantidad de "STEA" se incrementará debido a la gran cantidad de proyectos, con los cuales se pretende transferir más de 25 Km<sup>3</sup>/ año.

El "STEA" de mayor longitud en el mundo es el canal de Kara, a través del cual transitan 11 Km<sup>3</sup>/ año de agua del río Sir Daria, su longitud es de decenas de kilómetros, cruza una zona desértica y semidesértica.

Las obras hidráulicas del "STEA" ejecutadas en los años setentas y ochentas, las de mayor volumen de transferencias, se efectuaron entre cuencas hidrológicas de Canadá con 24 Km<sup>3</sup>/año, provenientes del río Churchill, que transfieren al río Nelson y otra transferencia de 50 Km<sup>3</sup>/ año de agua del río Istmein y canal Koniapisco, al río La Grand, tiene una longitud de 30 a 40 kilómetros. De acuerdo a los indicadores el "STEA" más grande, es el de Karakum (el volumen de "STEA", es de  $W = 11 \text{ Km}^3/\text{año}$ , la longitud del canal es de  $L = 1,100 \text{ Km.}$ ), el indicador de las dimensiones del "STEA", es  $WL = 12,100 \text{ Km}^3/\text{año} \times \text{Km.}$

Por características similares al canal de Karakum, en la India se encuentra el canal Narmada con  $W = 13 \text{ Km}^3/\text{año}$ ,  $L = 1,000 \text{ Km.}$ ,  $WL = 13,000 \text{ Km}^3/\text{año} \times \text{Km.}$  El indicador de dimensionamiento de los más grandes "STEA" en Canadá, se tienen transferencias de grandes volúmenes de agua de 1,000 a 2,000 Km<sup>3</sup>/año x Km., y los más grandes "STEA" en los Estados Unidos, se encuentran en California con 4,000 a 4,500 Km<sup>3</sup>/año x Km., **ver Tabla No.3.3.**

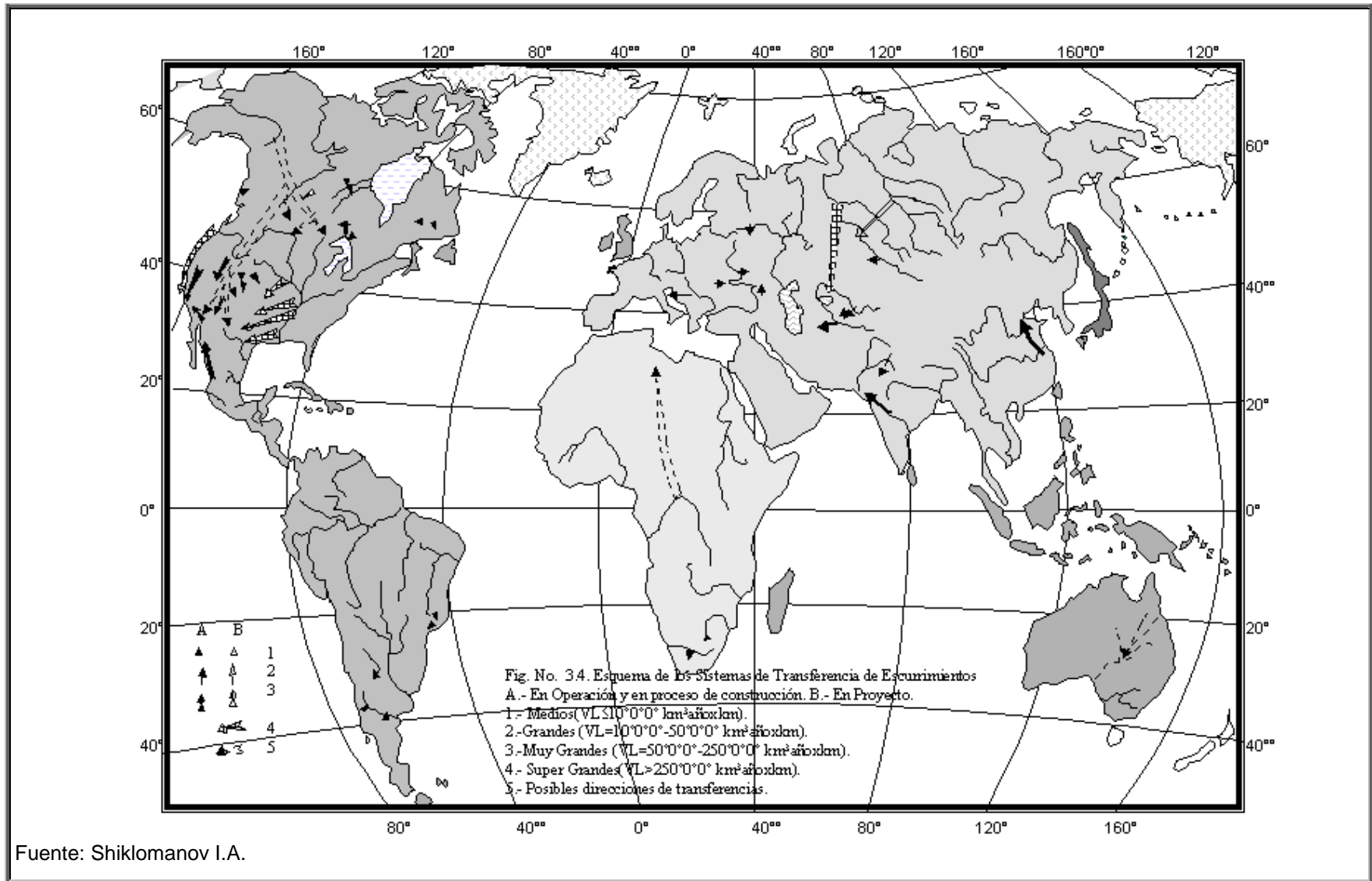


Fig. No. 3.6 Esquema de los sistemas de transferencia de escurrimientos

País	Año							2000 – 2020 Volúmenes proyectados	
	1900	1920	1940	1960	1970	1980	1985	Alternativa Baja	Alternativa Alta
Canadá	7	7	10	14	25	90	140	260	300
USA	-	2	20	26	27	27	30	150	250 ***
México	-	-	-	1	4	4	9	10	15
Rusia	-	-	8	10	25	47	60	100	220 ****
Países de la cuenca del río Danubio *	-	-	-	-	-	2	5	15	20
India	15	15	18	18	22	37	50	130	310
China	Sin datos						10	30	40
Otros países **	Sin datos			40	45	50	60	65	80
Total en el Planeta	22	24	56	109	148	257	364	760	1240

Nota: \* (Alemania, Austria, Eslovaquia, Hungría, Croacia, Serbia, Rumanía, Ucrania y Bulgaria).

\*\* (datos incompletos, que incluye los volúmenes de transferencia de escurrimientos en España, Irak, Pakistán, Israel, Sud África y Australia).

\*\*\* Considerando el proyecto NAWAPA.

\*\*\*\* Considerando el proyecto de la Bahía de Onega.

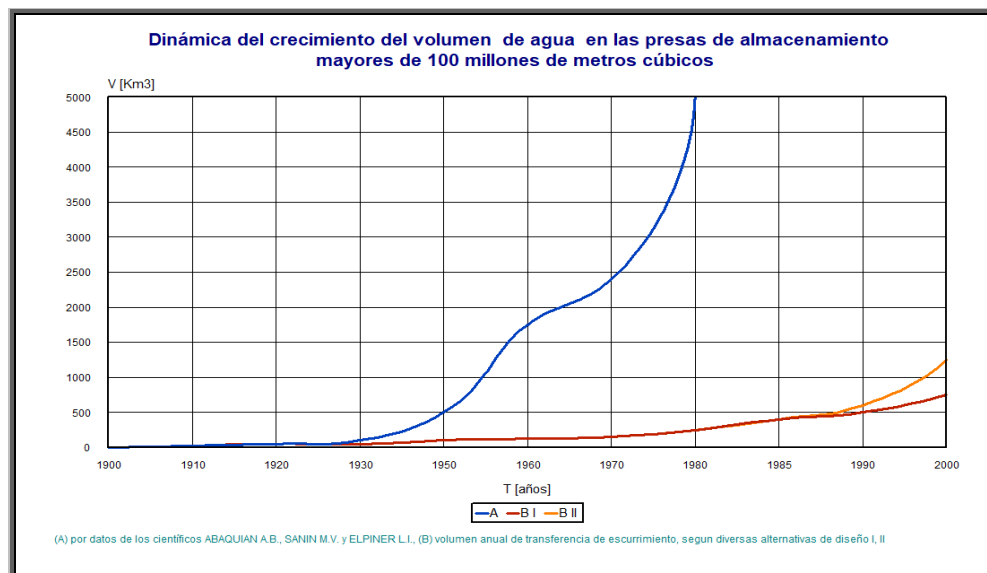
Fuente: Shiklomanov I.A.

### Tabla No.3.3 Dinámica de los STEA en cuanto a sus volúmenes en diversos países del mundo, Km<sup>3</sup>/año.

En la actualidad el volumen total de todos los tipos de “STEA” en el mundo, es de 359 Km<sup>3</sup>/año, de los cuales le corresponden a Canadá 140 Km<sup>3</sup>/año, a Rusia 60 Km<sup>3</sup>/año. Para el período 2000-2020, el volumen de transferencia de escurrimientos puede crecer hasta 800-1200 Km<sup>3</sup>/año. La dinámica del crecimiento de los volúmenes anuales de escurrimientos transferibles, respecto al crecimiento de volúmenes en las presas de almacenamiento se muestra en la Fig. No.3.6.

La dinámica del crecimiento del volumen en las presas de almacenamiento mayores de 100 millones de m<sup>3</sup> (A), en operación, el volumen de transferencia de escurrimientos (B) en el mundo, alternativas I y II.

El crecimiento intensivo de transferencias de volúmenes de agua se observa desde los años ochenta, al mismo tiempo dio inicio el crecimiento de volúmenes, en presas de almacenamiento, desde los años cincuenta y sesenta.



**Fig. No 3.6 Dinámica del crecimiento del volumen de agua en las presas de almacenamiento mayores a 100 hm<sup>3</sup>.**

#### 3.4.2.- Soluciones hidrotécnicas e ingenieriles para la distribución territorial de los recursos hídricos.

Cualquier sistema que efectúe una redistribución territorial de los escurrimientos incluye un conjunto de obras hidráulicas para asegurar el almacenamiento, transporte y suministro del agua a los sectores usuarios. Las soluciones técnicas e ingenieriles de algunos componentes del sistema, pueden ser los

más diversos, dependiendo del volumen y la longitud de la transferencia de escurrimientos, así como sus objetivos y condiciones físico geográficas, desde donde se realiza la transferencia. El carácter de los "STEAs" cambia con el tiempo conforme se va adquiriendo experiencia en la construcción de obras hidráulicas de grandes sistemas hidroeconómicos.

En la antigüedad los "STEAs" y el suministro de agua, se efectuaba utilizando las pendientes naturales del terreno a través de canales de tierra, sin utilización de equipos de bombeo para salvar los desniveles. Cabe mencionar que muchos de estos sistemas de riego hasta la fecha continúan operando. Como sabemos actualmente se está aprovechando los avances tecnológicos para aplicarse en la infraestructura hidráulica, realizando una redistribución territorial y temporal de los escurrimientos, que por obvias razones técnicas sobrepasan a los sistemas de riego y líneas de conducción del pasado. El conjunto de obras hidráulicas que intervienen en los actuales sistemas de riego, se compone de presas de almacenamiento, canales de todo tipo, esclusas, plantas de bombeo, tuberías a presión, plantas hidroeléctricas, túneles, presas derivadoras, estructuras de control, reguladores de caída de agua (disipadores), etcétera. Algunas características técnicas e ingenieriles de los "STEAs" en operación y en proyecto se muestran en el **Tabla No.3.4.**

Cabe mencionar que en Rusia, se elaboró un proyecto de "STEAs" el cual tomara parte de los escurrimientos de las cuencas bajas del río Irtysh y Sir Daria, que incluye un gran canal que por sus dimensiones será único en el mundo, con una longitud de 2300 Km., capaz de transportar 25 Km<sup>3</sup>/año de agua en su primera etapa, para alcanzar un volumen de agua a transferir de 60 Km<sup>3</sup>/año, la red de canales secundarios tendrán en su conjunto una longitud de 10,000 Km., con una capacidad máxima de conducción de 520 m<sup>3</sup>/seg (partiendo del canal del río Sir Daria hasta el canal principal a unos 1630 Km.), de 10 a 12 bombeos que garantizan el suministro de agua a través del río Irtysh-Turgan, para conducir el agua hasta el canal del río Sir Daria, aguas arriba de la presa de Tiúminsk, para escurrir posteriormente hacia aguas bajo del río Amu Daria (la elevación que habrá que salvar, es un desnivel de 120 metros), para descargar estas aguas a la presa de almacenamiento de Tegisk, la cual tiene una capacidad de 5.4 Km<sup>3</sup>/año, el canal principal cruzará 324 corrientes de aguas superficiales, por los cuales escurre agua en forma temporal o permanente, cuyos gastos de agua varían desde unos cuantos m<sup>3</sup>/seg, hasta 2600 m<sup>3</sup>/seg. Para poder cruzar estas corrientes superficiales se diseñaron una gran cantidad de obras hidráulicas de almacenamiento, más de 120 sifones y cunetas reforzadas. En los cruces con carreteras y ferrocarriles, se prevé la reconstrucción de 6 puentes para ferrocarriles y 18 grandes puentes automovilísticos. Una de las alternativas contempla la construcción de cuatro presas, que operarán bajo un régimen de contra pendiente.

En los Estados Unidos los nuevos proyectos de mayor importancia, son los que se pretende efectuar en el noroeste, para redistribuir de 100 a 300 Km<sup>3</sup>/año transfiriéndolos al sur de este país, este proyecto incluye 370 conjuntos de obras hidráulicas (proyectos independientes), así como presas de almacenamiento de 450-520 metros de altura, estos embalses se encuentran en Rokui-Mountain-Tench, con un volumen de 600 Km<sup>3</sup>/año, 10 mil Km. de canales que distribuirán el agua, con apoyo de derivadoras, además que funcionarán para el transporte fluvial, incluye también más de 3000 Km. de túneles, gran cantidad de esclusas, centrales hidroeléctricas con líneas de transmisión eléctrica, que garantizaran el funcionamiento integral de la infraestructura, para regar una superficie superior a los tres millones de Km<sup>2</sup>, cabe mencionar que el transporte fluvial unirá la zona norte con el océano Atlántico y el Pacífico.



**Tabla No 3.4 Características Técnicas y de Ingeniería de algunos Sistemas de Transferencia de Esgurrimientos de Agua en operación y en proyecto.**

Sistema/ país	Vol. de Transferencia Km <sup>3</sup> /año	Línea magistral de transferencia							Hidro. Eléctricas	Presas	Plantas de Bombeo	Embalse	
		Long. Total Km.	Canales principales	Canales laterales	Túneles	Líneas de conducción	Cauce de ríos	Anti ríos				No.	V. Km <sup>3</sup>
Proy. en California USA	5.5	800	280	1040	33	397	150	—	8	35	18	23	8.2
Valle Central en Cal. USA	7.5	600	200	800	—	Sin datos	400	—	7	21	Sin datos	20	19.4
NAWAPA USA	100	>8000	10000	Sin datos	3000	Ídem	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Si datos	Idem		>1000
Churchill Canadá	24	300	35	—	—	—	265	—	7	8	—	7	>5.0
Montañas de Nieve Australia	2.4	500	—	—	140	80	300	—	7	16	2	5	8.0
Irtish- Karaganda Rusia	20.9	460	280	—	—	—	—	180	—	14	26	13	1.1
Río Obi- Asia Central Rusia	25	2900	2300	9600	—	—	—	650	—	5	12	1	5.4
Canal de Karakum Rusia	11	1100	—	—	—	—	—	—	—	18	25	16	1.6

Fuente: Shiklomanov I.A.

Las soluciones técnicas para cualquier sistema de transferencia de escurrimientos, deberán cumplir con los siguientes indicadores:

- Las posibilidades de garantizaran el suministro de agua a los sectores usuarios, con mínimas pérdidas y conservación de la calidad del agua.
- Una economía suficiente y efectiva
- La menor influencia posible sobre el medio ambiente.

Para poder seleccionar la mejor alternativa de transferencia de escurrimientos, desde el punto de vista constructivo y ambiental, deberán analizarse múltiples alternativas de diseño (ante proyectos). Por ejemplo, durante el proceso de diseño del “STE A”, de la cuenca del río Obi, parte de sus escurrimientos se transferirá hacia la cuenca de los ríos Sir Daria y Amu Daria, al respeto se analizaron más de 30 alternativas de solución.

En Estados Unidos el **Bureau of Reclamation** analizó 9 alternativas de “STE A” para los estados de Texas y Nuevo México, tomando parte de los escurrimientos del río Mississippi, este proyecto se denomina Plan de Manejo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos para mejorar y disminuir el déficit de agua en el estado de Texas. Cabe mencionar que, en la República China, se elaboraron 3 esquemas generales de “STE A”, que contemplan la toma de agua del río Yang Tze Kiang para transferir parte de sus escurrimientos a las regiones áridas del norte: en sus zonas( centro y oriente), estos proyectos sólo pudieron llevarse a cabo hasta finales de 1983, debido a problemas ecológicos y económicos.

El conjunto de obras hidráulicas para captar agua y efectuar las transferencias de escurrimientos, tiene soluciones muy diversas, pero en cualquier caso deberán garantizar el volumen de diseño requerido, así como establecer un régimen de explotación capaz de dar respuesta a cualquier necesidad natural, para mantener en equilibrio los recursos hídricos de la región.

En aquellos casos cuando en una corriente superficial existen a lo largo de este, tomas de agua directas y cuyas extracciones son pequeñas, como puede ocurrir en el río donador, el cual puede presentar un régimen estable de comportamiento en los escurrimientos del río, sin requerir una obra de retención de agua, como una represa o bien una derivadora, entonces se diseña una boca toma, una galería filtrante en el río, sin que esto altere el comportamiento natural del río o cualquier cuerpo de agua superficial. En las planicies de regiones húmedas no es recomendable la construcción de grandes presas, ya que se provocan inundaciones de tierras fértiles, creando al mismo tiempo zonas pantanosas con niveles freáticos someros. En muchos países europeos practican el uso y aprovechamiento eficiente del agua, en estuarios y marismas, sin necesidad de inundar grandes superficies productivas, con apoyo de obras hidráulicas, que permiten disminuir las pérdidas de agua dulce que se va al mar sin alguna utilidad.

Bajo el mismo principio en Rusia y los Estados Unidos, han iniciado el diseño de los “STEA”, construyendo a todo lo largo del perímetro del espejo de agua, en las presas de almacenamiento, bordos perimetrales, para contener mayores volúmenes de agua, sin tener que inundar grandes superficies de terrenos altamente fértiles.

Cuando se pueden presentar casos donde no es posible cubrir la demanda de agua, con los ríos donadores disponibles debido principalmente a su régimen hidrológico, entonces se construyen almacenamientos que puede regular eficientemente los escurrimientos captados durante el año, para subsecuentemente poder efectuar una regulación multianual. Cabe mencionar que, al respecto, se obtuvieron sorprendentes resultados, con el proyecto australiano denominado Nieves Montañas. El sistema de presas construido, permitió regular volúmenes de agua adicionales aun en las temporadas más secas, para escurrimientos con una probabilidad de ocurrencia de 85 a 95 %, de las aguas provenientes del río donador Snouy.

Es natural que la extracción de agua de un río, que nos conduce hacia un sistema de transferencia de escurrimientos, será posible gracias a la infraestructura hidráulica diseñada para tal fin, principalmente cuando se cuenta con grandes presas de almacenamiento, que son las que mayor impacto generan sobre el comportamiento hidrológico y ecológico en las cuencas hidrológicas de los ríos donadores. Esta influencia, se mezcla con los efectos tradicionales por la construcción de una presa de almacenamiento, el anterior efecto se refleja en los volúmenes de agua a transferir.

El transporte del agua desde el punto de extracción hasta el usuario, se puede realizar de diversas formas; por canales, túneles, líneas de conducción subterráneos y superficiales, a través de los mismos ríos incrementando los escurrimientos naturales; a través de ríos en contra pendiente, construyendo embalses en cascada, por medio de lo cual podemos enviar los escurrimientos aguas arriba, a través como ya mencionamos de los mismos ríos, generando un gradiente hidráulico inverso, por la diferencia de niveles, o bien lo podemos salvar por medio del bombeo.

La selección de un determinado tipo de transporte de agua, mucho depende del costo del “STEA”, así como los efectos que pueden ocasionar en el medio ambiente, como sabemos los canales a cielo abierto son el medio de transporte del agua más difundido y principalmente cuando se trata de salvar grandes distancias.

Por objetivos específicos los “STEA” por canales pueden ser los siguientes: Para un río, es característico el transporte fluvial, hidroenergético y otros usos, como el transportar exclusivamente el agua, con objeto de evitar inundaciones, podemos desviar los excedentes de agua de una zona específica y drenar zonas pantanosas y muchos otros objetivos. Por lo general los canales principales en los “STEA” de grandes dimensiones, estos objetivos múltiples o bien integrales, todos los “STEA” pueden incluir un complejo conjunto de canales con diversos objetivos (**Ver Tabla No3.5**).

Desde el punto de vista de protección de la calidad del agua a transferir, así como la protección del medioambiente, son dos aspectos fundamentales por lo que es importante mejorar las condiciones de impermeabilidad de los canales. Durante el proceso de construcción de las obras hidráulicas, como los canales, generalmente se impermeabilizan utilizado el revestimiento con concreto, asfalto concreto, así como una gran variedad de pantallas impermeabilizantes de tierra.

**Tabla No.3.5 Características de los canales de transferencia de escurrimientos de enormes dimensiones en Rusia**

Canal	Río Donador	Long. [Km.]	Capacidad máx. de conducción [m <sup>3</sup> /s]	Vol. de transferencia [Km <sup>3</sup> /año]	Altura de bombeo [m]	Vel. med. de escurrimiento [m/s]	Prof. media [m]	Ancho de la base [m]	Tipo de impermeabilizante
Karakum	Amudaria	1100	510	11	—	0.2-0.3	10-15	Sección parabólica	No aplica
Gran Fergan	Nariz	350	570	5.3		1.0-1.4	4-5	23-25	No aplica
Amubujar	Amudaria	230	325	5.8	115	0.7-0.8	5-6	7-14	Concreto en algunas secciones
Karshin	Amudaria	177	314	3.6	132		7-10	20-40	Membrana de concreto en 100 Km.
Estepa-estéril	Sirdaria	127	300	3.4		0.8-0.9	6-7	2-18	Concreto en 23 Km.
Irtish – Karaganda	Irtish	460	75	0.9	418	0.4-0.9	5-10	5-4	Grava con alta compactación
Gran Estavropol	Kuban	480	180	2.3			5-10	4-6	Concreto, concreto armado, membrana en algunas secciones
Norte de Krimea	Dniepr	400	294	4.0		0.6-0.7	3-6		Concreto en 50 Km.
Dniepr – Donbas	Dniepr	270	120	3.6	265		5-10	18-20	No aplica
Canal de Moscú	Volga	128	80	2.4				4-6	Concreto a toda lo largo

Fuente: Shiklomanov I.A.

Los recubrimientos de concreto en los canales, como sabemos son comúnmente manejados y aplicados en muchas partes del mundo, este tipo de recubrimientos, contrarrestan las filtraciones. A continuación, podemos mencionar un caso típico en Asia central, donde se realizó la construcción del gran canal de Karakum de 1,100 Km. El cual toma agua del río Amu Daria que se encuentra en la república de Turkmenia, el canal es de materiales de la región, a excepción de un tramo recubierto con asfalto cemento. Otro caso, es el canal de Irtish-Karagandá, donde los recubrimientos del canal, se efectuó con grava y arcilla con alta compactación.

Estas medidas de recubrimientos anti-infiltrantes a todo lo largo de los canales, principalmente cuando se aplica el concreto incrementa considerablemente los costos de las obras, no obstante, de no contar con este tipo de protecciones los costos de mantenimiento y rehabilitación serían muy altos, ya que los canales tienden a llenarse de maleza, azolves y deslizamientos de material hacia el interior del canal, así como otros factores negativos que influyen a lo larga de estos, encarecen el costo y la vida útil de las obras.

Las investigaciones realizadas por el científico norteamericano Biswas A.K. en 1975, estimó que en promedio las pérdidas por infiltración en los canales representan un 57% del agua, que se destina para el riego, incluso en canales de muy buena calidad, se tienen grandes pérdidas por la evaporación y la infiltración hasta 20 % del agua, por los cuales, se transporta el vital líquido. Estos ejemplos, los tenemos en los grandes canales de la India, donde las pérdidas de agua, alcanzan en promedio un 47%. Otro ejemplo palpable de perdidas, lo encontramos en los sistemas de riego de Pakistán, las pérdidas alcanzan de 55 a un 65%. Esta situación también ocurre en la mayoría de los canales de México.

Gran parte de los sistemas de transferencia de escurrimientos utilizan las corrientes superficiales y los canales existentes. Ejemplos de lo anterior ocurren en la República Popular de China, en el “STEA”, el cual toma agua del río Yang Tze Kiang, de donde se envía el agua al norte, por medio de un gran canal. La transferencia de escurrimientos en forma parcial del río Onega, Suja ni y del lago Onega, se transferirá agua al río Volga, así como el proyecto del canal de transporte fluvial Volga-Báltico. También en Canadá, se ha utilizado la red hidrográfica para realizar las transferencias de escurrimientos entre cuencas hidrológicas.

Para poder resolver los problemas de la ingeniería hidrológica, en un “STEA”, que se efectúa por medio de un río, así como el funcionamiento de los canales de conducción, por lo anterior debemos evaluar la capacidad de conducción de los cauces naturales, por donde se transitan los volúmenes de diseño, con objeto de no tener problemas durante la operación de un sistema, así mismo habrá que determinar los límites máximos permisibles de inundación de terrenos aledaños en ambas márgenes del cauce. Adicionalmente debemos predecir las transformaciones del cauce a todo lo largo y proteger los centros de población, así como áreas productivas, que pueden ser afectados. En los casos que estas

poblaciones, se afecten, deberán reubicarse, no sin antes programar adecuadamente la reubicación de los habitantes para que no se vean afectados y para que no se presenten problemas sociales.

Lo más complejo de todos los "STEA", es cuando funcionan como anti-ríos, los cuales operarán en contra flujo. Debido principalmente a los posibles cambios de los procesos morfológicos de los cauces naturales, ya que, al modificarse las velocidades de los escurrimientos en los ríos, forzosamente estamos transformando el comportamiento natural de estos, así mismo cambia la distribución de los azolves. Como una parte sustantiva de los sistemas de transferencia de escurrimientos, lo representa la construcción de túneles para librar zonas montañosas, cabe mencionar, el caso donde se construyó una de los túneles de mayor longitud, el cual se realizó, en el estado de Israel con 80 Km. de túnel, este se ubica entre el mar muerto y el meridional. El empleo de acueductos, tubería a alta presión en nuestros días ya es una realidad, con este tipo de obras podemos disminuir considerablemente las pérdidas de importantes volúmenes de agua. La cantidad de volumen de agua, que se ha transportado por estos medios es un poco más de un Km<sup>3</sup> / año.

Adicionalmente podemos mencionar que la calidad del agua deberá de conservarse, lo cual favorecerá a largo plazo, las inversiones tan cuantiosas que se hacen al inicio. El transporte de grandes volúmenes de agua por medio de tuberías de grandes dimensiones requiere fuertes inversiones. Esta situación en épocas pasadas retuvo la construcción de obras de "STEA" por medio de tuberías, por sus altos costos, en la actualidad debido a la gran escasez de agua, estas medidas tan importantes, ya están adoptando en muchos continentes y en regiones de zonas específicas, por lo anterior, es recomendable considerar, durante la construcción de "STEA" a través de tuberías.

En México se está sufriendo por la escasez de agua en el centro, norte y noroeste del país. El almacenamiento de agua en las presas cada vez es menor, los grandes canales construidos, en la actualidad representan un gran problema, mantenerlos en buenas condiciones, además de las enormes pérdidas de agua que se registran en ellos, por tal situación resulta incosteable continuar operándolos. Las autoridades responsables del sector hidráulico en México, tienen que tomar medidas urgentes y cambiar la conceptualización respecto a la construcción de canales y cambiar a tuberías en los actuales sistemas de riego y futuras obras. Estas medidas permitirán realizar un uso y manejo eficiente del agua, para obtener una alta productividad, además de evitarse conflictos sociales respecto a la tenencia de la tierra, debido a las indemnizaciones que se tienen que pagar y que, en muchos de los casos, son causa para no llevarse a cabo las obras.

El régimen de un "STEA" varía en grandes proporciones, dependiendo principalmente de las funciones objetivo, así como de las proximidades de posibles almacenamientos. El "STEA" fundamentalmente en las zonas de riego, así como durante la temporada de estiaje, representa una importante ayuda, durante la temporada de lluvias gradualmente baja el volumen de transferencia. *Debemos entender que las posibilidades de tomar agua de las cuencas hidrológicas donantes, deberán ser compatibles con el proceso hidrológico, que se genera en ellas, de tal suerte que nos permita cubrir el déficit de agua año con año, mes con mes para aquellos sitios donde se requiere el agua. Lo deseable sería alcanzar una situación ideal, donde todas las grandes cuencas hidrológicas estuvieran interconectadas como un sistema eléctrico único, es decir poder efectuar una redistribución de los recursos hídricos, en forma espacial y temporal. Cubriendo las demandas pico (máximas), disminuir la transferencia de grandes volúmenes de agua, en tramos muertos efectuando una programación multianual y por temporadas para poder enviar las reservas de agua de una cuenca a otra, dependiendo de la fluctuación de los escurrimientos en la región.*

El suministro de agua analizado bajo un régimen estricto, puede causar en algunos años efectos negativos. Lo anterior nos alerta que debemos considerar los cambios en los cuerpos de agua superficiales, debiendo monitorear el nivel de estos almacenamientos, como fue el caso del mar de Aral. A través del tiempo ha disminuido considerablemente por efecto de una mala planeación y explotación, tal situación se está viviendo en el lago de Chapala.

Desde el punto de vista operativo es recomendable unir los ríos siempre que estos tengan una variación asincrónica de los escurrimientos, es decir deberán coincidir en el tiempo y en el espacio. Adicionalmente el diseño de cada sistema de transferencia de escurrimientos tiene que considerar una operación integral, bajo el punto de vista de un solo sistema hidroeconómico global (entre grandes regiones hidrológicas, estados y países). Lo anterior debe hacer compatible todos los principios de formación y desarrollo de los escurrimientos.

Por todo lo anterior debemos iniciar la formulación de las bases y principios tecnológicos y científicos que nos permitan realizar una redistribución territorial de los recursos hídricos, con el fin de conformar un sistema hidroeconómico único en México, el cual contemple no solamente el manejo integral de todas cuencas hidrológicas, sino también las bases metodológicas y principios, que nos permitan un manejo y aprovechamiento integral de los recursos hídricos "hidroeconómicos" de todo el país.

### **Consecuencias e impactos**

Una vez presentadas las causas que justifican la realización de las transferencias en general, las transferencias intercuenas y sus características y tipologías, se plantean los impactos y posibles consecuencias.

Cuando se realiza una transferencia intercuenas, una parte de los recursos hídricos de la cuenca de origen, ya sean superficiales o subterráneos, son extraídos de esta definitivamente en la mayoría de las ocasiones, y se envían a la cuenca hidrográfica receptora. En la cuenca donante, la pérdida de estos recursos conlleva una serie de impactos ambientales, económicos y sociales que, generalmente, son negativos. En el otro extremo, en la cuenca receptora de la transferencia, los nuevos recursos suelen tener efectos positivos, especialmente desde el punto de vista económico, pero tampoco es infrecuente que coexistan con daños ambientales. Además, hay que contemplar los impactos existentes en la ruta de transporte utilizada.

Del balance entre los impactos positivos y los negativos en ambas cuencas dependerá de la deseabilidad social de la transferencia. No obstante, la evaluación de los beneficios y los costes de las transferencias es complicada y no siempre se realiza correctamente: por una parte, no siempre se han tenido en cuenta todas las posibles consecuencias; por otra, no siempre se considera a todos los grupos sociales afectados por las transferencias; y por último, muchos de los beneficios y los costes de las transferencias no son fácilmente medibles en términos monetarios, lo que dificulta su comparación.

De este modo, durante gran parte del siglo XX, en cuanto a beneficios, en la mayoría de las transferencias sólo se han tenido en cuenta los intereses de los usuarios directos del agua transferida (agricultores, consumidores urbanos y empresas hidroeléctricas) y se han ignorado los efectos ambientales de las transferencias, los impactos en las cuencas de origen o el interés del público en general. Por ejemplo, en el libro *Water Transfers in the West*<sup>18</sup> (National Research Council, 1992) se reconoce que en muchas ocasiones los intereses de las terceras partes afectadas no se han tenido en cuenta suficientemente, afirmando que el sector público debería instrumentar mecanismos para que se internalicen en los procesos de negociación y decisión sobre las transferencias.

En la tabla 3.4 se muestra la gran cantidad de factores a considerar a la hora de evaluar las transferencias en EE.UU., lo que ilustra el grado de dificultad de dicha tarea.

**Tabla No 3.6 Factores a considerar para evaluar las transferencias de escurrimientos de agua**

<b>Tipo de Transferencia</b>	<b>Impacto sobre terceros</b>
Cambio en la propiedad	Medio ambiente
Desvío del caudal	Usos en el río
Cambio en el uso	Uso recreativo
Cambio en la gestión	Pesca y vida salvaje
Trasvase fuera de la cuenca	Hidroelectricidad
<b>Motivo principal de la transferencia</b>	Calidad del agua
Voluntario	Daños a usuarios del agua
involuntario	Salud humana
<b>Impulsor principal de la transferencia</b>	Afecciones a los ecosistemas
Gobierno	Protección ecosistemas
Local	Especies amenazadas
Estatal	Humedales
Ejecutivo	Hábitat ribereño
Legislativo	Estuarios
Judicial	Intereses urbanos
Federal	Restricciones trasvases interestatales
Ejecutivo	Cambios en status de exenciones fiscales
Legislativo	Contribuyentes federales
Judicial	Interés económico nacional
<b>Impacto sobre terceros</b>	Beneficios inesperados
Comunidades Rurales	Otros propietarios de derechos
Servicios de apoyo	Derechos recientes
Disminución base impositiva	Derechos antiguos
Pérdida de recursos naturales	Pérdida de flexibilidad
Agricultura	<b>Naturaleza de los efectos</b>
El resto de usuarios de las aguas	Económicos (nacional/regional)
Reasignación de derechos	Pérdida de ingresos
Comunidades étnicas y tribus indias	Pérdida de oportunidades
Comunidades étnicas	Nuevos ingresos
Comunidades indias	Ambientales
Mantenimiento y expansión agraria	Pesca y vida salvaje
Otros	Actividades recreativas
	Calidad del agua
	Humedales
	Sociales
	Comunidades rurales
	Municipios
	Otros

Fuente: Aguilera (1992).

**Tabla No 3.7 Lista de verificación: Problemas básicos de transferencia de escurrimientos de agua**

Una lista de verificación de preguntas que los administradores de los recursos hídricos pueden considerar al evaluar las transferencias.

Algunas preguntas pueden ser especialmente relevantes y otras mínimamente, dependiendo del estado del marco normativo.\*

<p><b>Tamaño</b></p> <p>¿De qué tamaño será el volumen del agua transferidos en relación con los suministros en el área de origen?</p> <p>¿Quedará agua suficiente para el riego y operaciones económicas, o para hacer frente a crecimiento anticipado o condiciones de sequía?</p>	<p><b>Calidad del agua</b></p> <p>¿La transferencia disminuye la calidad del agua? Como ejemplo, ¿una disminución en los flujos aumenta la temperatura de la corriente? El uso del agua ¿Podrían generar cambios y traer consecuencias no deseadas para la vida silvestre o recreativas por su uso?</p>
<p><b>Costo</b></p> <p>¿Es una transferencia de agua el medio más rentable para cubrir la demanda de agua?</p>	<p><b>Recarga de aguas subterráneas</b></p> <p>¿La transferencia reducirá la cantidad de agua subterránea, debido a la reducción de la recarga inducida de riego? los agricultores dependen de los recursos acuíferos para satisfacer sus necesidades de agua para el riego, ¿existen suficientes recursos?</p>
<p><b>Oportunidad</b></p> <p>¿La transferencia ocurrirá inmediatamente o proporcionará tiempo para la adaptación? la transferencia ocurrirá cada año o intermitentemente?</p>	<p><b>Gobierno local</b></p> <p>¿Resultará una transferencia de agua en consecuencias negativas o positivas para los impuestos ¿base? ¿Podría surgir alguna necesidad de servicio social como resultado de la transferencia?</p>
<p><b>Distancia</b></p> <p>El agua puede transferirse a distancias cortas y alcanzar los objetivos locales de planificación del uso de la tierra, o puede viajar más lejos y convertirse en un punto de controversia.</p> <p>Las transferencias locales mantendrán el agua dentro de una comunidad, para poder minimizar los impactos económicos de la transición, para sostener la economía agrícola, o incluso mejorar la economía local y la base impositiva.</p>	<p><b>Ambiente</b></p> <p>¿Conducirá un cambio en el tiempo o la desviación del agua a un cambio adverso en el hábitat de las plantas o la vida silvestre ¿especies? ¿Podría la transferencia conducir a resultados positivos?</p>
<p><b>Duración</b></p> <p>¿El requerimiento de suministro de agua, es temporal o se trasladara permanentemente el agua del área de origen? ¿Si se trata de una venta, existe una opción de retro arrendamiento para alejar el área de origen del uso regular del agua?</p>	<p><b>Economías locales</b></p> <p>¿Conducirá la transferencia de agua a daños no deseados? consecuencias en la comunidad local debido a una reducción de los ingresos de la agricultura de riego? Se podrán establecer programas de mitigación para disminuir los ¿efectos negativos?</p>
<p><b>Medios de transporte</b></p> <p>¿Existe la infraestructura para mover el agua de manera eficiente a su nuevo lugar de uso? ¿Existe la infraestructura necesaria para suministrar agua?</p>	<p><b>Planes de Mitigación</b></p> <p>¿El acuerdo de transferencia incluye algún término como ayuda económica a la comunidad rural o rehabilitación de tierras de cultivo? Si es así, ¿no aplican cualquiera de las preocupaciones anteriores?</p>

Fuente: Water Transfers in the West

## Problemas comunes

Dado este marco legal, los estados han enfrentado una variedad de problemas comunes al tratar con transferencias de agua.

### 4.- Los problemas del agua y los sistemas de transferencia de escurrimientos en diversos países del mundo

#### 4.1.- América del Norte

Para resolver los problemas de suministro de agua en América del Norte, se han realizado grandes esfuerzos dirigidos hacia la construcción de grandes presas de almacenamiento con objeto de regular los escurrimientos durante las diversas temporadas del año, así como en forma multianual, con objeto de hacer más eficiente el consumo de agua en los sistemas hidroeconómicos abocados a la redistribución territorial de los recursos hídricos.

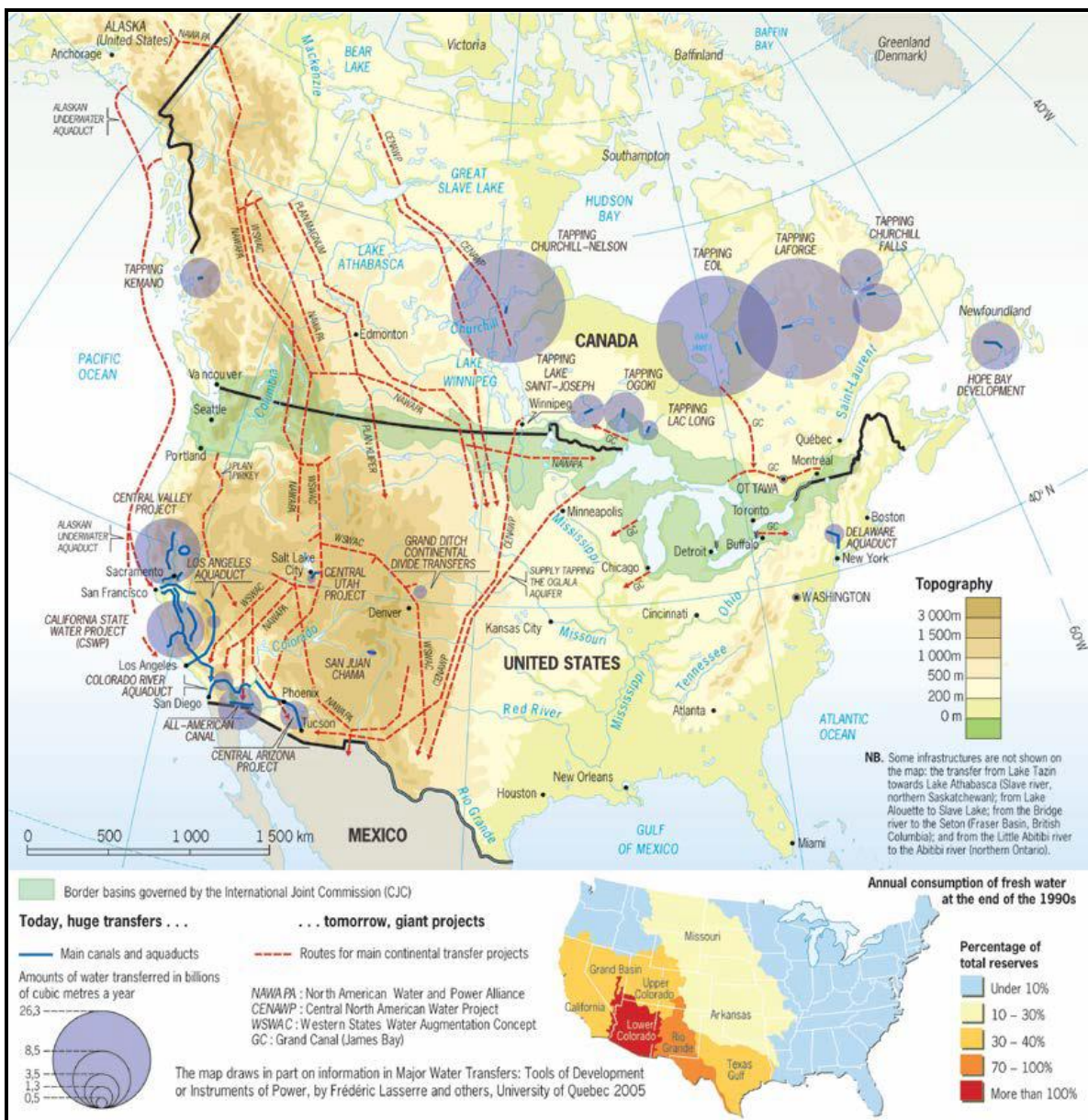
La construcción de grandes presas de almacenamiento se inició en los años treinta del siglo pasado. Los proyectos de gran escala para realizar la redistribución territorial de los recursos hídricos, tuvieron sus inicios apenas hace 20-30 años atrás. Muchos de estos proyectos contemplan la transferencia de escurrimientos entre una misma cuenca hidrológica y otros entre cuencas hidrológicas. En América del Norte al respecto ocupa el primer lugar, por el volumen que se transfiere, con respecto a los demás continentes. Cabe mencionar que también aquí, se realizaron los proyectos de mayor envergadura, ya que contemplan la redistribución de los Recursos Hídricos entre grandes regiones hidrológicas, empleando redes fluviales abarcando y dominando una enorme superficie. El desarrollo de los sistemas hidroeconómicos por medio de la transferencia de escurrimientos, debe mencionarse que las condiciones naturales, tienen que ser favorables, también contribuir al hecho de que la ubicación de los centros de población, la industria y la agricultura se encuentran distribuidos inadecuadamente.

Hay que mencionar que los mayores "STEAs" que operan y se proyectan, se encuentran en América del Norte (Canadá, Estados Unidos de Norteamérica y en México "SHINO" Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste", entre otros).

En Canadá a pesar de la gran disponibilidad de agua con que cuentan, es muy común el empleo de las transferencias de escurrimientos para un manejo y aprovechamiento integral de los recursos hídricos. La transferencia de escurrimientos, se efectúa en la mayoría de los casos, para resolver un déficit de agua en la zona de riego y el suministro de agua potable, así como para obtener una mayor eficiencia del potencial hidroeléctrico que se tiene en las cuencas hidrológicas. En 1985 en Canadá se encontraban en operación o en proceso de construcción 60 "STEAs", distribuidos entre las corrientes superficiales y los cuerpos de agua existentes (lagos), para una de las más importantes provincias se transferirá cerca de 140 Km<sup>3</sup>/anuales de agua. Canadá actualmente ocupa el primer lugar en el mundo respecto a la redistribución territorial de los escurrimientos. En la **Fig. No.4.1**, se muestran diez de los más importantes "STEAs". Estos representan el 83 % de todos los "STEAs", que transfieren 116 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, de los cuales el 64% es decir 90 Km<sup>3</sup>/anuales corresponden a 3 súper grandes proyectos, estos son "Churchill" en la provincia de Manitoba "Jeims Bey" en Quebec y "Churchill-Falz" en Newfoundland. En promedio en estos proyectos se realiza la transferencia de enormes volúmenes de agua, de hasta 25 Km<sup>3</sup>/anuales. En ningún lugar del mundo se tiene este tipo de transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas.

Por lo anterior en la época actual Canadá es un país pionero en la transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas, no obstante que esta transferencia no se efectúa a grandes distancias.





Fuente: Lasserre y Rekaewicz (2005).

**Fig. 4.1 Principales trasvases intercuenas en Canadá y EE.UU. "STEA".**

### La transferencia de escurrimientos de agua de la bahía de James

El trasvase de la bahía de James (James Bay Project), en el Estado de Quebec, es el más moderno de los grandes trasvases canadienses, iniciándose su construcción en 1974. Esta infraestructura constituye el trasvase más grande del mundo en términos de volumen, aunque tal y como puede verse en la figura 4.2, está compuesto por dos transferencias.

El primero de ellos, conocido como la transferencia Laforge, transfiera 25.071hm<sup>3</sup> anuales (795 m<sup>3</sup>/s) desde el embalse Caniapiscau hasta el río La Grande Riviere a unos 250 km al oeste. El segundo, el trasvase EOL, es individualmente el más grande de mundo al trasvasar 26,333 hm<sup>3</sup> anuales (835 m<sup>3</sup>/s) unos 150 km hacia el norte desde los ríos Eastmain, Opinaca y el lago Sakami, también al río La Grande Riviere. En total, La Grande Riviere recibe anualmente unos 51,400 hm<sup>3</sup> o 1,630 m<sup>3</sup>/s (Laserre, 2005).

Recientemente, en 2006, se aprueba la realización de un trasvase adicional desde el río Rupert de 450 m<sup>3</sup>/s (Hydro-Québec, 2008: 8), lo que incrementará el volumen trasvasado total de este sistema a más de 65,000 hm<sup>3</sup>, es decir, más de 2,000 m<sup>3</sup>/s.



Fuente: Hydro-Québec (2005).

**Fig. 4.2 James Bay Project**

La finalidad última de estos trasvases es la generación de energía eléctrica en las ocho centrales hidroeléctricas a las que abastece esta infraestructura, con una potencia instalada total de unos 16.000 Mw (Hydro-Québec, 2006: 90), lo que le convierte en el mayor complejo hidroeléctrico del mundo (Natural Resources Canadá, 2000: 99). La capacidad instalada (16 Gw) y la producción hidroeléctrica (83 Twh) de este complejo suponen, aproximadamente, una cuarta parte de la del país<sup>48</sup>. La terminación de la central hidroeléctrica Eastmain 1, junto con la de dos nuevas centrales que se construirán con motivo de la aprobación del trasvase del río Rupert añadirán más de 1,300 Mw de potencia instalada y una generación de más de 8,7 Twh adicionales (Hydro-Québec, 2008: 3).

Respecto a las consecuencias de este trasvase, las más evidentes, dada su magnitud, han sido las medioambientales. A pesar de ello, no se realizó una evaluación de impacto ambiental al acometerlo puesto que las leyes del Estado de Quebec no lo exigían a principios de los setenta.

Los embalses del proyecto sumergieron 11,000 km<sup>2</sup> de bosque boreal y modificaron substancialmente las condiciones hidrológicas de los ríos y sus ecosistemas asociados, tanto de la cuenca cedente como de la receptora. El trasvase Laforge hace que el río Caniapiscou reduzca un 43% sus aportaciones al río principal de su cuenca, el Koksoak lo que para este supone una disminución del 35% de su caudal en la desembocadura. El trasvase EOL, por su parte, supone una reducción del 87% del caudal en la desembocadura del río Eastmain (Snaddon, Davies y Wishart, 1999: 63). En contrapartida, el caudal medio del río La Grande se duplica debido a los trasvases, pasando de unos 1,700 m<sup>3</sup>/s a unos 3,400 m<sup>3</sup>/s, y se multiplica por diez en temporada invernal, pasando de 500 m<sup>3</sup>/s a 5,000 m<sup>3</sup>/s.

A pesar de los costes ambientales, algunos autores han defendido la bondad del proyecto al evitar la emisión de gases de efecto invernadero, ya que, si no se hubiese construido, la electricidad que aporta tendría que haber sido generada mediante centrales eléctricas térmicas convencionales, que emiten un 90% más de gases de efecto invernadero. Por otra parte, la disminución de los caudales en los ríos Caniapiscaw y Koksoak, que alimentan el trasvase EOL, ha reducido el riesgo de inundaciones durante las migraciones del caribú, aunque las fluctuaciones de los niveles de agua durante la fase del llenado del embalse de Caniapiscaw coincidieron con un descenso de la población de caribúes de diez mil ejemplares en 1984.

Desde el punto de vista económico o socioeconómico, los resultados del James Bay Project habría que valorarlos de forma separada para la población "occidental" y para la población indígena o aborígen, que tradicionalmente ha sido el grupo social más perjudicado por el desarrollo de los proyectos hidráulicos (Quinn, 1991: 138). El resultado para los primeros es fácilmente cuantificable y se podría desglosar en beneficios directos e indirectos. Los directos equivalen a la diferencia entre los ingresos por la venta de la energía eléctrica menos los costes de construcción, explotación y mantenimiento de la infraestructura. Los indirectos son consecuencia de la actividad económica y las rentas generadas por los usuarios de la energía eléctrica.

Los resultados para las poblaciones indígenas que habitaban la zona, los Cree y los Inuit, son mucho más difíciles de cuantificar. Como beneficios del proyecto habría que tener en cuenta las indemnizaciones concedidas por el gobierno del Estado de Quebec a cambio de las tierras sobre las que tenían derechos y que fueron expropiadas para llevar a cabo el proyecto, así como las posibilidades de desarrollo económico que estos recursos les habían brindado. Sin embargo, las consecuencias cualitativas, y por tanto difíciles de cuantificar, son en este caso mucho más importantes, puesto que el desarrollo de infraestructuras como estas condenó, seguramente, el modo de vida tradicional de estos pueblos (Quinn, 1991: 150), trascendiendo las consideraciones económicas y adentrándonos en el complicado terreno de las cuestiones éticas y morales.

Por los trabajos realizados, se describe el funcionamiento de la transferencia de escurrimientos en Canadá, que comprenden las siguientes funciones fundamentales:

- Concentración de escurrimientos para una mayor generación de energía hidroeléctrica.
- Cubrir el déficit de agua en las regiones con insuficiencia de agua.
- Desvió de aguas en zonas con exceso de humedad.

El 95% de la transferencia de escurrimientos en Canadá están dirigidas principalmente para cubrir las necesidades hidroenergéticas y en menor grado para el transporte fluvial y transporte de madera. Hay que comentar que estos "STEAs" tienen una serie de propiedades, que los distinguen como lo menciona el investigador Canadiense Quinn F.J. (**Ver Tabla No4.1**).

Los "STEAs" en Canadá como ya se mencionó no transfieren a grandes distancias el agua, debido a la alta densidad de sus redes fluviales, las condiciones naturales del relieve permiten efectuar prácticamente todas las transferencias de escurrimientos por gravedad, empleando los cuerpos de agua superficiales "lagos" que sirven como almacenamientos reguladores, haciendo las veces de presas de almacenamiento. Lo anterior les ha permitido no tener que construir gran cantidad de presas de almacenamiento para transferir y regular los escurrimientos.

Por otro lado, la baja densidad de población y la poca actividad en esas regiones, donde se efectúan las transferencias de escurrimientos, ha permitido obtener un bajo impacto en ciertas actividades socioeconómicas, así como ambientales. Estas condiciones permiten que los costos de estos proyectos sean bajos, obteniendo una rápida amortización de las inversiones, gracias a la generación de energía hidroeléctrica.

Estos proyectos han facilitado la transferencia del 8% de los escurrimientos de los ríos donadores, con lo cual se incrementa enormemente el escurrimiento de los ríos receptores, cabe aclarar que los

escurrimientos no se transfieren a aquellos ríos con bajos escurrimientos, si no a aquellos ríos con buenos escurrimientos y que por intereses hidroenergéticos, es conveniente ampliar su potencial hidráulico.

**Tabla No 4.1 Los sistemas de transferencia de escurrimientos en operación y en proceso de construcción en Canadá**

No	Nombre del Proyecto	Fuente de captación de agua	Receptor de Agua	Volumen de Agua transferido Km <sup>3</sup> /anual	Uso principal del agua	Año de inicio de la transferencia
1	Columbia Británica(Quemano)	Río Nechako (río Fryzer)	Río Quemano	3.3	Hidroenergía	1962
2	Columbia Británica	Río Bridzh	Lago Seton - Leyk	3.1	Hidroenergía	1934-1959
3	Manitoba (Churchill-Falz)	Río Churchill	Río Nelson	24.0	Hidroenergía	1976
4	Ontario	Lago San Joseph (río Olbani)	Río Ret	2.7	Hidroenergía	1957
5	Ontario	Río Istmein (río Olbani)	Lago Nipigon	3.6	Hidroenergía	1943
6	Ontario Canal- Welland)	Lago Erie	Lago Notario	7.0	Hidroenergía, transporte fluvial	1829
7	Québec (Geims Bey)	Río Istmein Opinaka	Río La Grand	25.2	Hidroenergía	1980
8	Québec (Geims Bey)	Río Kaniapisko	Río La Grand	24.6	Hidroenergía	1983
9	Newfandlend ( Churchill-Falz)	Río Gulian-Annouy	Río Ashuanipi	6.2	Hidroenergía	1971
10	Newfandlend ( Churchill-Falz)		Río Churchill	10.5	Hidroenergía	1971
11	Newfandlend ( Churchill-Falz)		Río Nort-West-River	5.7	Hidroenergía	1969

Fuente: Shiklomanov I.A.

Las regiones con estepas en Canadá durante el estiaje sufren de déficit de agua, debido a que no cuentan con una alimentación de agua subterránea, con la cual puedan cubrir las demandas de agua existentes. Debido a esto es necesario transferir importantes volúmenes de agua a estas regiones. Respecto al sector agrícola también se tienen fuertes demandas de agua, por tanto, se han elaborado importantes proyectos que contemplan la transferencia de cerca de 50 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, utilizando diversas arterias fluviales de las cuencas hidrológicas de los ríos Atabass, Piss y Churchill, hacia las cuencas hidrológicas del río Sascachevan, hacia la principal arteria fluvial de la región esteparia (**ver Tabla 4.2**).

Adicionalmente a lo anterior, se han elaborado diversas alternativas de transferencia de escurrimientos para la generación hidroeléctrica, cabe mencionar que tres de estos, se ubican en la Columbia Británica, donde se contempla la construcción de un proyecto de grandes dimensiones para la transferencia de 23 Km<sup>3</sup>/anuales de agua del río Yukón, para transferirse al río Taka, para el restablecimiento de los ríos de la provincia de Quebec (**ver Tabla No. 4.2**).

La gran cantidad de agua existente en las regiones del norte de Canadá, actualmente no tiene ningún uso, por otro lado, el déficit de agua en las regiones esteparias de Canadá y principalmente en las regiones del occidente, en la frontera con Estados Unidos, durante 1960 a 1970, se elaboraron varios proyectos de sistemas hidroeconómicos de grandes dimensiones que contemplan la transferencia de agua del norte de Canadá hacia el sur y norte de los Estados Unidos. Los anteriores proyectos se elaboraron en los Estados Unidos ya que es la más interesada en la importación de agua.

Las autoridades y la sociedad canadiense, presentaron dos objeciones a estos proyectos. Una se refiere a los posibles efectos sobre el medioambiente, por lo que se tienen que desarrollar varias alternativas, que contemplan diversos escenarios con condiciones adversas de construirse estos proyectos, así como de qué manera se podría mitigar la influencia negativa sobre el medioambiente.

**Tabla No. 4.2 Proyectos de Transferencia de escurrimientos en Canadá.**

Provincia	Fuente de abastecimiento de agua, río (cuenca)	Receptor de agua, río (cuenca)	Volumen de transferencia Km <sup>3</sup> /año	Uso principal
Columbia Británica	Río Cuteney (río Columbia)	Río Columbia	5.4	Hidroenergía
Columbia Británica	Río Mak Gregory (río Piss)	Río Pasquín (río Piss)	6.2	Hidroenergía
Columbia Británica	Río Yukón	Río Taku	23	Hidroenergía
Alberta	Río Apper-Atabaca	Río Nort-Saskatchewan	3.6	Riego
Alberta	Ríos Piss, Smoky-River, Lower Atabaca	Río North-Saskatchewan	23	Hidroagrícola, Hidroenergía
Saskatchewan	Río North-Saskatchewan	Río Saut-Saskatchewan	8.9	Riego
Saskatchewan	Río Churchill	Río Saskatchewan	8.9	Riego
Manitova	Río Saskatchewan	Río Assiniboine (río Red -River)	4.5	Riego
Québec	Ríos Piss, Smoky-Prodbak	Río Rupert	31	Hidroenergía

Fuente: Shiklomanov I.A.

El otro aspecto se refiere a los problemas políticos y legales que habría que salvar entre estas dos naciones. Los aspectos de beneficio socioeconómico por la transferencia de agua, que pudiese tener el gobierno canadiense, no fueron del todo favorables, ya que el proyecto denominado " NAWAPA"-North American Power and Water Alliance, contempla la transferencia de escurrimientos de los ríos Yukón y Mackenzie pasando por la provincia canadiense de Columbia Británica, para continuar hacia el occidente de los Estados Unidos y el norte de México, los beneficios son para los Estados Unidos.

Por tal motivo el gobierno de Canadá aprovecharía únicamente el 20% del agua transferida, incrementándose la superficie de riego solo en un 15% del territorio canadiense, toda vez que los Estados Unidos se beneficiaría incrementado la superficie de riego en un 72%, obteniendo ganancias de más de 30 mil millones de dólares a precios de los años sesenta. Por otro lado, persiste la opinión que la construcción del sistema de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones desde Canadá, lo anterior tendría algunos aspectos positivos para el desarrollo económico de esa nación, activándose las regiones alejadas del norte y del noroccidente, asimismo se ampliarían las fuentes de trabajo de esa población, permitiendo incrementar en forma integral y efectiva el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos de Canadá.

La mejor alternativa desde el punto de vista ambiental, la representa el proyecto de transferencia de agua, hacia las estepas de las provincias de Canadá denominado Grand Canal y no el proyecto NAWAPA con todas sus componentes y alternativas.

Los defensores del proyecto Grand Canal en Canadá, consideran que con este puede aprovecharse más eficientemente el potencial hidráulico del norte de los Estados Unidos y parte de Canadá ya que la realización de este tipo de proyectos, de grandes dimensiones contempla el restablecimiento del sistema fluvial, con criterios ecológicos y socioeconómicos, lo cual los hace más atractivos. Como ejemplo de que, si se puede llegar a un acuerdo internacional, es el manejo del sistema de los grandes lagos conjuntamente con el río San Labrador.

Respecto a los recursos hídricos, en los Estados Unidos en algunos estados de la unión americana, se presentan situaciones de déficit de agua, principalmente en aquellos estados ubicados hacia el occidente, cuyo futuro desarrollo dependerá de tomar medidas para solucionar esta problemática, planeando adecuadamente el uso de protección de los recursos hídricos disponibles.

Hay que mencionar que en 1965 el congreso de los Estados Unidos, organizó un consejo especial para atender los asuntos del sector hidráulico en esa zona (Water Resources Council). Bajo su dirección se efectuó un importante inventario de todos los aprovechamientos hídricos existentes en el país, una evaluación de todos los sectores usuarios existentes, también se llevó al cabo un pronóstico, el cual contempla los posibles escenarios hasta el año 2020.

Los resultados obtenidos en 1968, para los 10 años subsecuentes el comité realizó una segunda evaluación de los recursos hídricos nacionales, mejoró el pronóstico de los posibles cambios para el año 2000. Al respecto como sabemos se han realizado gran cantidad de publicaciones que pretenden interpretar estas dos encuestas realizadas por el consejo.

En el intervalo de evaluación de 1968 a 1977 en los Estados Unidos, cambiaron radicalmente los procedimientos para estimar las tendencias y dinámica de los usos del agua. Los resultados obtenidos de los últimos pronósticos, nos muestran que el uso total del agua dulce en los Estados Unidos, hasta finales del siglo (año 2000), se estabilizó su uso, inclusive este disminuyó en los sectores urbano y rural; en la industria algunas áreas se incrementaron.

A pesar de los pronósticos optimistas sobre los usos del agua, en la última evaluación de los recursos hídricos y sus usos demuestran que el déficit de agua superficial resultante, así como la degradación de su calidad se observan prácticamente en toda la unión americana, por tanto, para el año 2000 la situación del agua dulce queda muy comprometida y demasiado tensa. Como resultado de las consultas e investigaciones se han determinado los problemas del agua, su solución no siempre es posible, mientras estas se pueden resolver, con las siguientes condiciones:

- Contribuir para que el deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea, disminuya substancialmente en todas direcciones.
- Lograr la sustentabilidad conservando un régimen aceptable en los niveles de almacenamiento de los cuerpos de agua, así como la calidad y la productividad de los grandes lagos (tal es el caso del lago de Chapala).
- Compensación del agotamiento en las reservas de agua principalmente en los acuíferos de las grandes planicies del sur del estado de Texas, hasta el norte del estado de Nebraska (similar situación se presenta en muchos acuíferos de nuestro país).
- Contrarrestar la intrusión Salina en las aguas dulces costeras, así como las aguas interiores continentales con niveles freáticos someros.
- Suministro de agua a centros de población con crecimiento rápido, mejoramiento de los sistemas de agua potable municipales (en el centro, norte y noreste de México).
- Cumplimiento a los acuerdos internacionales entre Estados Unidos y México, por el uso de del agua de las corrientes superficiales limítrofes del río San Labrador, Colorado y Río Grande.
- Protección de los ecosistemas en las marismas, manglares, estuarios y golfos, que estén sometidos bajo la influencia de las acciones antropogénicas, por la variación del comportamiento de los ríos que desembocan al golfo de San Francisco, delta del río San Joaquín y Sacramento, así como en el estuario localizado en el estado de Nueva Jersey.

Los déficits de agua relacionados con las aguas subterráneas, en las regiones áridas del occidente, son debido a la sobreexplotación de yacimientos de minerales, así como en las industrias se basan primordialmente en la extracción de carbón de piedra y petróleo, el desarrollo de la industria motivo el crecimiento poblacional en esa región, por lo que se complicó el suministro de agua potable.

Uno de los caminos de posible solución a estos problemas actuales y futuros, es la posibilidad de efectuar a mediano plazo la construcción de un sistema de transferencia de escurrimientos, internamente en cada estado y entre estados, así como grandes sistemas de transferencia de escurrimientos interregionales, que incluyen la exportación de agua de Canadá.

Como sabemos en los Estados Unidos funcionan actualmente una serie de sistemas hidroeconómicos, que contemplan la transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas, este volumen, es cercano a los 30 Km<sup>3</sup>/año, para un mayor conocimiento presentamos la siguiente información en los **Tablas 4.3, y 4.4, y las Fig. No. 4.2 y 4.3**

Cabe mencionar que `para las obras hidráulicas en el estado de California en el futuro, ha sido frenada por la oposición de la sociedad, asociaciones defensoras del medioambiente estatales y gubernamentales. Existen opiniones de que este tipo de obras deben ser aplazadas, ya que existe el temor que al transferir agua más barata motivara el crecimiento de centros de población y zonas de riego, por la llegada de gente de otros estados, hacia el estado de California, por lo que ya se han iniciado en California medidas de regulación de los recursos hídricos tales como:

- Aplicación de medidas estructurales y no estructurales para un uso eficiente del agua a todos los niveles.
- Reformas en el costo del agua, jerarquizando y diferenciando los costos del agua.
- Creación del mercado del agua, efectuando subastas de los excedentes de agua.
- Restablecimiento de las reservas de agua subterránea por medio de la recarga inducida, durante la época de grandes lluvias.
- Mejorar y optimizar los métodos de tratamiento de aguas residuales, así como inducir el uso secundario del agua (reuso).

**Tabla No 4.3 Volúmenes y destino de la transferencia de escurrimientos más grandes de los Estados Unidos.**

Ubicación y Nombre del proyecto (sistema de transferencia)	Fuente de aprovechamiento río	Receptor del agua	Vol. De transferencia k <sup>3</sup> /año	Longitud del acueducto	Año de inicio de la transferencia	Uso principal
<b>California</b>						
Acueducto Los Ángeles	Owen	Cd. de Los Ángeles,	0.6	300	1913	Agua Potable
Acueducto Colorado	Colorado	San Diego y Los Ángeles	1.5	400	1928	A.P. y R.A.
Canal Panamericano	Colorado	Sur de California	4.0	350	1940	A.P. y R.A.
Acueducto Get Getchi	Twolemn	Cd. de San Francisco		250	1932	A.P.
Proyecto Valles Centrales	Sacramento	Sur de California	7.5	600	1935	A.P. y R
Proyecto Hidráulico Estatal	Feter	Sur de California	5.2	800	1970	IDEM
<b>Colorado</b>						
Colorado- Big Thomson	Colorado	Río Sault-Platt	0.4	210	1959	A.P. y R
Proyecto Yuta Central	Colorado	Lago Yuta	0.3	230	1964	A.P. y R
	Colorado	Río Arkansas	0.1	80	1962	IDEM
Illinois	Lago Michigan	Cd. de Chicago, río Illinois	2.8	100	1922	A.P.
Nueva York	Croton, Catskill Delaware	Cd. de Nueva York	1.2 1.3	250 400	1904 1924 1936	A.P.

Nota: A.P.= Agua Potable; R. =Riego; R.A.= Recarga de Acuíferos

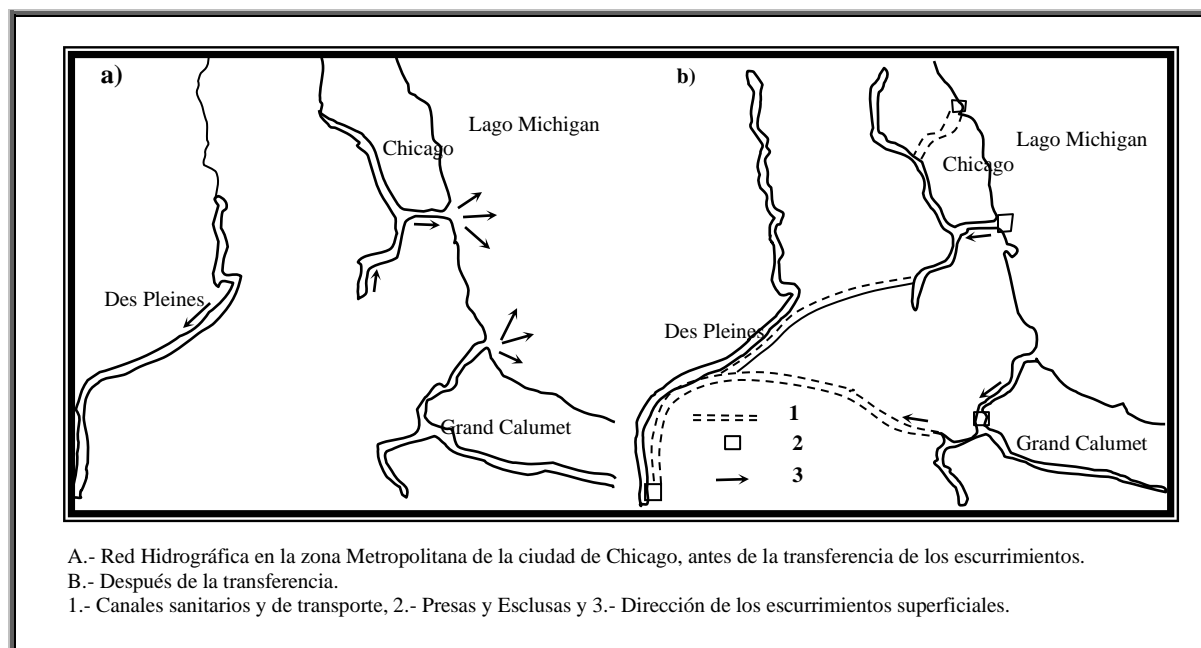
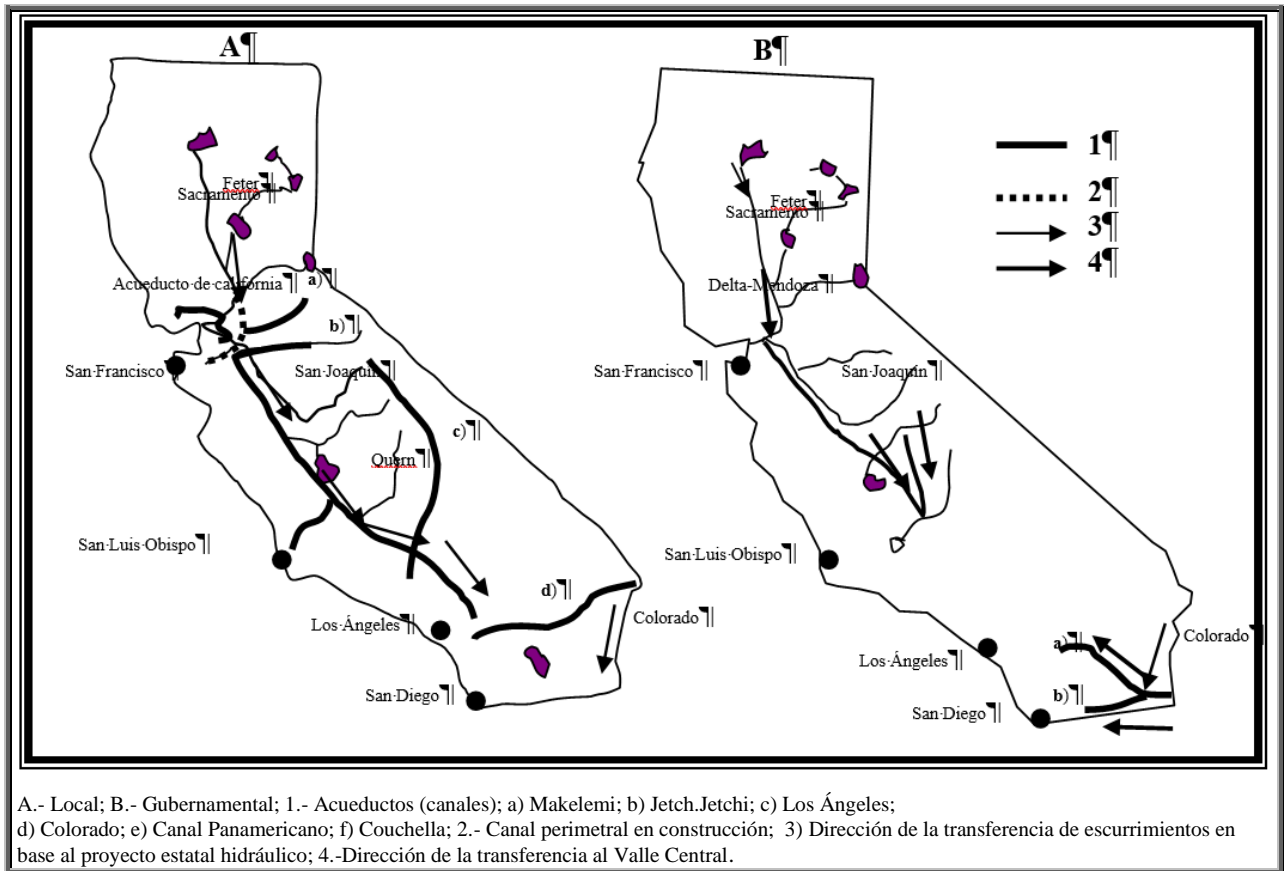
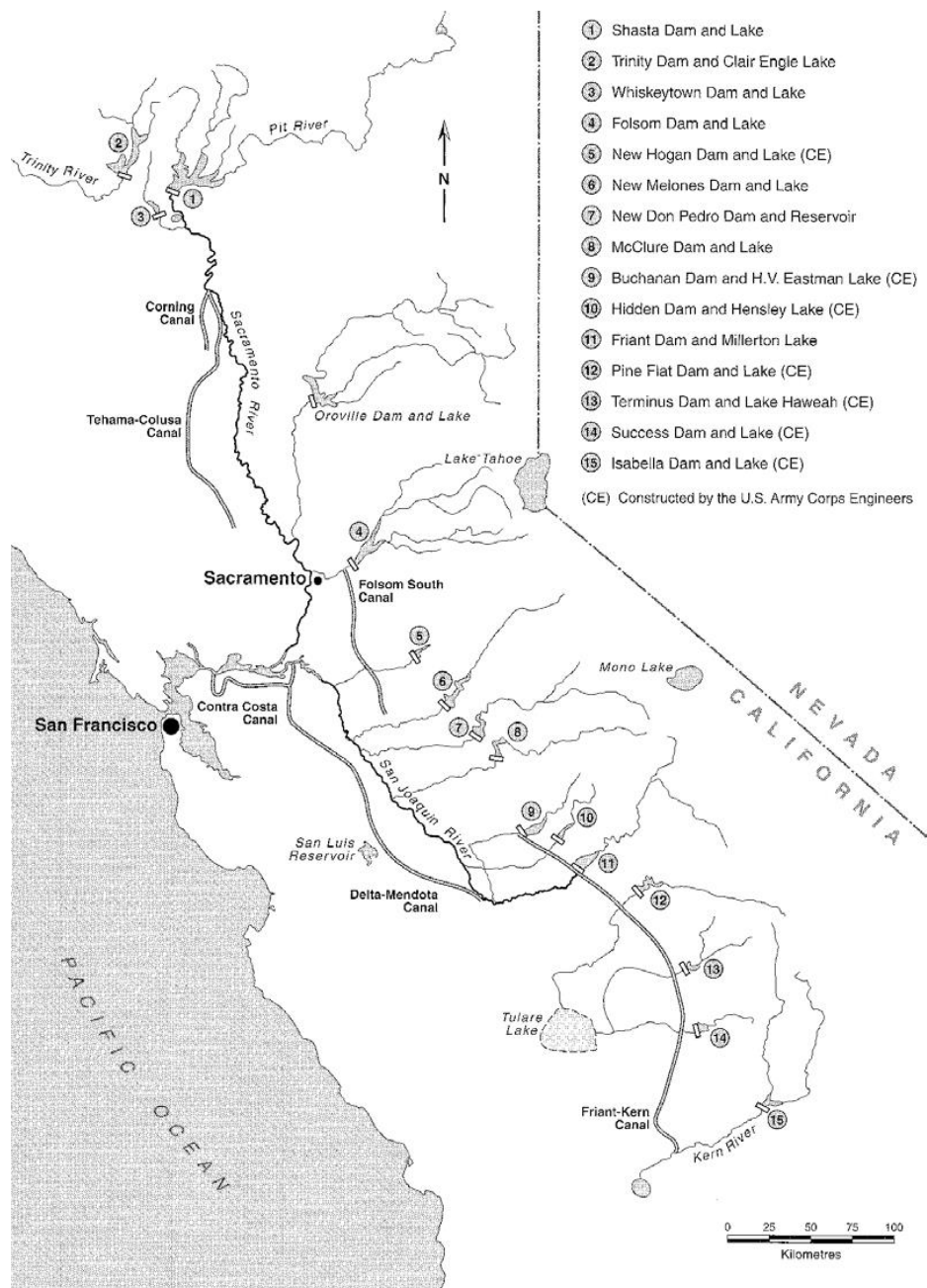


Fig. No. 4.2 Esquema de transferencia de escurrimientos de agua de la cuenca del Lago Michigan, hacia la cuenca del río Mississippi (río Des Pleines- río Illinois-río Mississippi).







Fuente: Ghassemi y White (2007)

**Fig. No. 4.3. Sistemas Hídricos en el Estado de California**

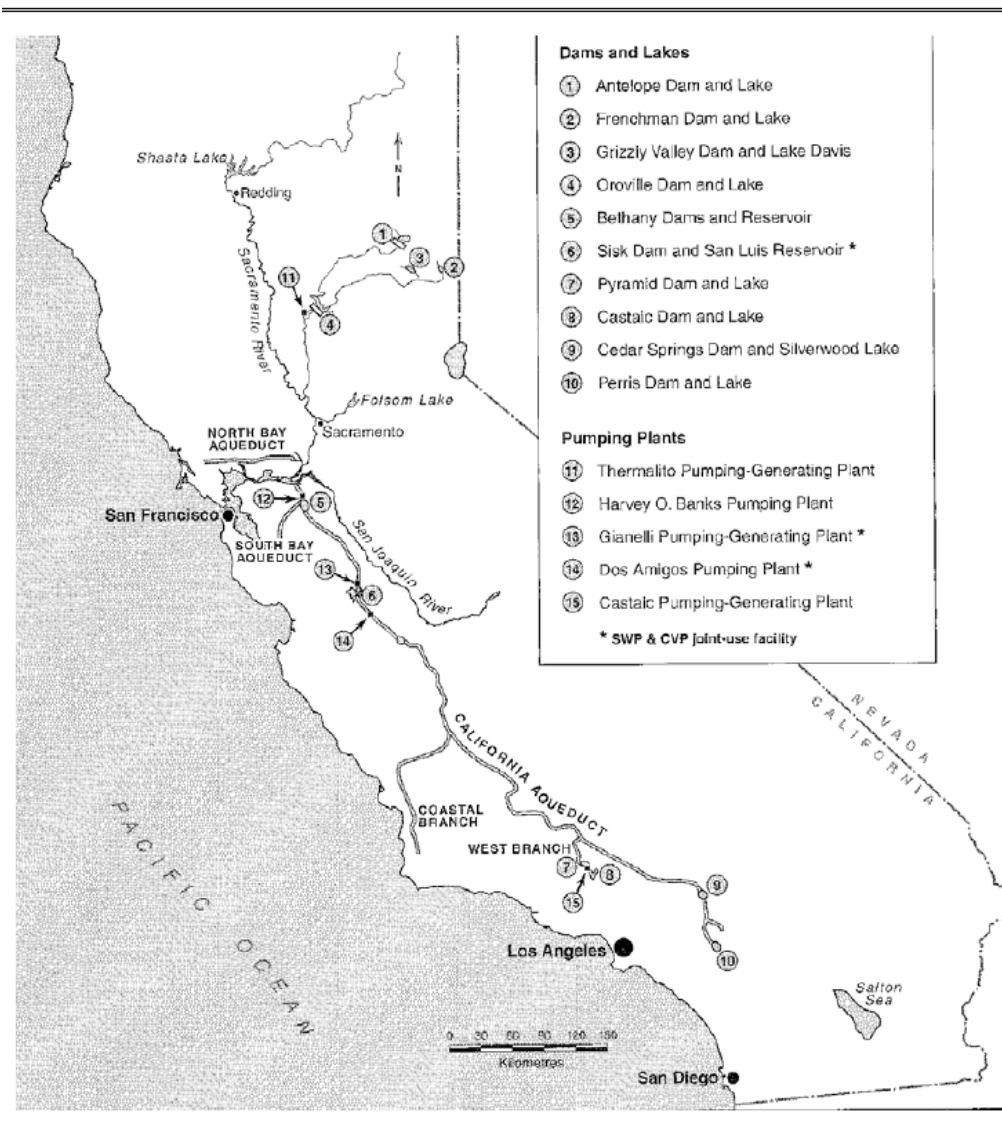
### El State Water Project

Al igual que ocurre con el Central Valley Project “CVP”, el State Water Project (SWP) es una infraestructura de transferencias formada por un conjunto de embalses y canales interconectados entre sí con múltiples puntos de origen y destino de las aguas trasvasadas. Aunque la infraestructura puede parecer similar a la del CVP, su capacidad es mucho menor, tanto en lo que se refiere al almacenamiento (unos 7,200 hm<sup>3</sup>) como en la cantidad anual de agua distribuida para actividades económicas, unos 3,000 hm<sup>3</sup> (Ghassemi y White (2007)). En la tabla II.9 se muestran sus principales características mientras que en la figura 4.4 se muestra la localización de las infraestructuras más significativas.

**Tabla No 4.4 Principales características del State Water Project**

Característica	
Inicio de la construcción	1957
Finalización de la construcción	
Número de embalses	32
Capacidad total de embalse (hm <sup>3</sup> )	7.200
Mayor embalse (hm <sup>3</sup> )	Oroville: 4.300
Embalse más alto (m)	Oroville: 234,7
Longitud de canales y tuberías (km)	1.065
Número de centrales hidroeléctricas	8
Número de centrales térmicas de carbón	1
Energía generada (millones kwh)	7.600
Energía usada (millones kwh)	12.200
Número de estaciones de bombeo	17
Altura máxima de bombeo (m)	587

Fuente: Ghassemi y White (2007: tabla 11.14).

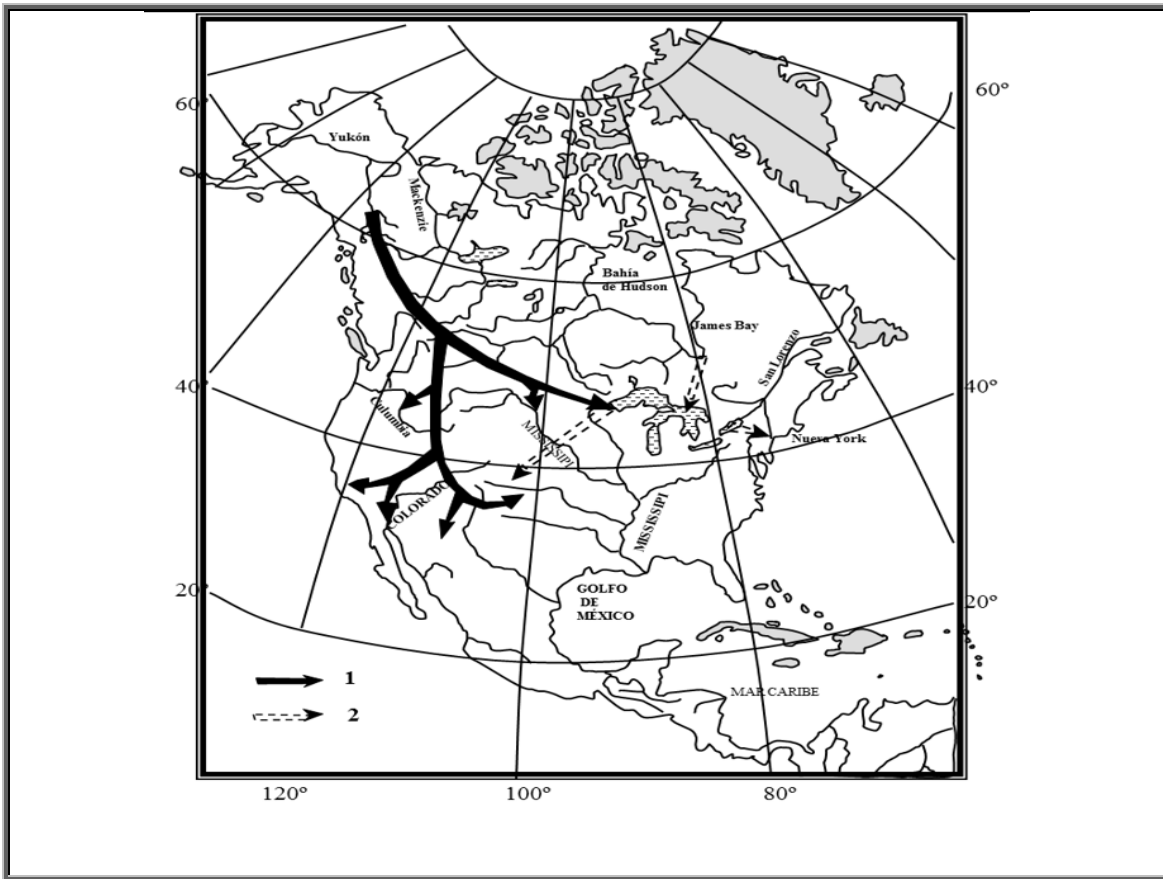


**Fig. No. 4.4. Situación de las principales infraestructuras del State Water Project**

Como ya lo mencionamos en los Estados Unidos durante los años sesenta, se elaboraron una gran cantidad de proyectos integrales a nivel regional e interregional, con objeto de efectuar una redistribución territorial de los recursos hídricos (**Tabla No.4.5**). Durante ese período se presentó un intenso desarrollo económico y como consecuencia un crecimiento en la demanda de agua, los problemas del agua, pasaron a ser más importantes. Por lo anterior deberá prestarse mayor atención a la planeación y programación de la disponibilidad de agua para el año 2020. Cabe mencionar que estos diagnósticos pronosticaban un incremento sustancial de los usos del agua. Para poder salir de esta crisis hídrica, se tomó la decisión más efectiva, esta se refiere a la redistribución de los escurrimientos entre regiones y cuencas hidrológicas (**Fig. No. 4.5**).

El crecimiento agrícola en las tierras semiáridas con alta productividad, es posible aprovecharlas, siempre que se realice una redistribución de los escurrimientos, con lo cual se evitaría tener que abrir nuevas tierras al cultivo y actividades agropecuarias, evitando con esto también los daños ecológicos correspondientes. Con la redistribución de los escurrimientos podemos asegurar el suministro de agua, en forma continua al sector industrial, así como al sector termoeléctrico.

Otro aspecto importante es el resolver los aspectos jurídicos entre las naciones, estados y municipios, como es el caso entre Estados Unidos, Canadá y México.



FUENTE: IGOR SHICLOMANOV

**Fig. No. 4.5 Dirección de las Transferencias de Escurrimientos de agua del proyecto NAWAPA(1) y Gran Canal(2).**

**Tabla No4.5 Proyectos interestatales de transferencia de escurrimientos en los Estados Unidos de Norteamérica**

Nombre del proyecto	Fuente de aprovechamiento	Región(cuenca hidrológica), receptora del agua	Volumen de agua transferido Km <sup>3</sup> /año	Longitud de la línea de conducción Km.
Plan del Instituto Goodson	Río Mississippi y Arkansas	Estados del Sur-Oeste	42	1800
Plan BECCA	Río Missouri	Estados del centro del oeste de USA.	12	1000
Plan Hidráulico de Texas	Río Missouri y río Texas del oriente	Texas, Nuevo México del oeste	14-20	1700-2500
Línea Submarina	Desembocadura del río Columbia	Sur de California	15	1800
Acueducto Costero Submarino	Desembocadura del río Clamat, Rog	Sur de California	13	1000
Proyecto hidráulico del Oeste	Aguas abajo del río Columbia	Sur de California y Nevada(cuenca hidrológica del río Colorado)	16	1000
Sneak-Colorado	Río Sneik (cuenca hidrológica del río Columbia)	Sur de Nevada (cuenca hidrológica del río Colorado)	6	500
Yellowstone - Sneaks - Green	Yellowstone (cuenca hidrológica del río Missouri)	Río Green (cuenca del río Colorado)	2.4	400

#### 4.1.1 MÉXICO

Como sabemos en México, es muy característico el contar con centros de población con una alta densidad y una desigual disponibilidad de recursos hídricos. En las zonas montañosas del altiplano y norte del país, se concentra el 60% de la población, aquí se encuentran los yacimientos de metales preciosos, así como ricas zonas agrícolas, las cuales están más desarrolladas económicamente, el porcentaje de recursos hídricos, es de un 4%, además cabe mencionar que las corrientes superficiales existentes están sometidas a una fuerte contaminación, en comparación con el sureste, con buenas condiciones climáticas y de suelos.

La intensiva utilización de las aguas subterráneas, ha provocado serios problemas de sobreexplotación de los acuíferos, por otro lado, se tiene un bajo conocimiento de estas regiones, por la falta de estudios de los acuíferos, con serios problemas de calidad del agua, esto agudiza la falta de agua en estas regiones. El mayor potencial de agua subterránea se localiza en las regiones hidrológicas del sur-sureste del país, también aquí se encuentran las corrientes superficiales más importantes y con mayor potencial.

Hay que mencionar que los principales problemas del agua en el México de hoy, están vinculados con las altas tasas de crecimiento poblacional, así como un desarrollo económico basado en explotación de los recursos petroleros.

De 1950 al año 2000 la población se incrementó de 29 millones a 100 millones de habitantes, disminuyendo la población en el sector rural, por lo que se incrementó la concentración de habitantes en las principales ciudades del país entre las que destacan la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y muchas otras, para el 2010 la población fue de 112'336,538 de habitantes, es decir un incremento en los últimos diez años de más de 12 millones.

Para poder atender los problemas del agua en México, el territorio nacional, se ha subdividido en 37 Regiones Hidrológicas (ver **Tabla 4.6**).

**Tabla 4.6 Regiones Hidrológicas de México**

No	Región Hidrológica	No	Región Hidrológica	No	Región Hidrológica
1	Noroeste	14	Río Ameca	27	Norte de Veracruz
2	Centro-Oeste	15	Costa de Jalisco	28	Papaloapan
3	Suroeste	16	Armería-Coahuayana	29	Coatzacoalcos
4	Noroeste	17	Costa de Michoacán	30	Grijalva-Usumacinta
5	Centro-Este	18	Balsas	31	Yucatán Oeste
6	Sureste	19	Costa Grande de Guerrero	32	Yucatán Norte
7	Río Colorado	20	Costa Chica de Guerrero	33	Yucatán Este
8	Sonora Norte	21	Costa de Oaxaca	34	Cuencas Cerradas del Norte
9	Sonora Sur	22	Tehuantepec	35	Mapimi
10	Sinaloa	23	Costa de Chiapas	36	Nazas-Aguanaval
11	Presidio-San Pedro	24	Bravo-Conchos	37	El Salado
12	Lerma-Santiago	25	San Fernando- Soto la Marina		
13	Río Hucicila	26	Pánuco		

Fuente: Estadísticas de México 2018

Para su manejo político se ha subdividido en 13 Regiones Administrativas y subregiones de planeación (ver Tablas 4.7 y 4.8).

**Tabla No 4.7 Regiones Administrativas**

Región Administrativa	Extensión territorial ( miles de Km <sup>2</sup> )	Cantidad de Municipios al año 2010
I Península de Baja California*	154.28	11
II Noroeste**	196.32	78
III Pacífico Norte	152.00	51
IV Balsas	116.44	420
V Pacífico Sur	82.77	378
VI Río Bravo	390.44	144
VII Cuencas Centrales del Norte	187.62	78
VIII Lema-Santiago-Pacífico	192.72	332
IX Golfo Norte	127.06	148
X Golfo Centro	102.35	432
XI Frontera Sur	99.09	139
XII Península de Yucatán	139.90	128
XIII Valle de México	18.23	121
<b>Nacional</b>	<b>1,959.25</b>	<b>2460</b>

Fuente: Elaborado con base en CONAPO (2012), INEGI (2016j), Conagua (2017b) EAM\_2018

Nota: \* Incluye 10 municipios completos más una porción del municipio de San Luis Río Colorado, perteneciente al distrito de Riego 014(río Colorado), que comprende una extensión territorial de 281.3 Km<sup>2</sup> y una población de 9016 habitantes.

\*\* No incluye la extensión territorial y la población del Distrito de Riego 014 (río Colorado).

Durante el proceso de planeación hidráulica en México, se consideró importante la creación de los consejos de cuenca, con objeto de que el sector social opine sobre el manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos. Estos Consejos de Cuenca están integrados por: Un Presidente del Consejo (Titular de la CNA), Vocales Gubernamentales, Vocales del Sector Usuarios, Invitados, Secretaria Técnica (Gerente Regional CNA), así como Comisiones de Cuenca, Comités de Cuenca, COTAS(Comités Técnicos de Aguas Subterráneas), Grupos de Seguimiento y Evaluación del Consejo, Asamblea de Representantes de Usuarios, Centro de Información y Consulta sobre el Agua, grupos Especializados y Comités Regionales, Subregionales y Estatales de usuarios por Uso del Agua. Hasta finales del año de 2012, se integraron 26 consejos de cuenca, 30 comisiones de cuenca, 29 comités de cuenca y 81 Comités Técnicos de Aguas Subterráneas COTAS, 36 Comités de Limpieza de Playas (Según el último informe de la Coordinación de Consejos de Cuenca de la CONAGUA, celebrado en octubre del 2012).

**Tabla No. 4.8 Subregiones de Planeación**

Región Administrativa	Subregión Administrativa	Región Administrativa	Subregión Administrativa	
I Península de Baja California	Baja California	VII Lerma Santiago Pacifico	Alto Lerma	
	Baja California Sur		Medio Lerma	
II Noroeste	Río Sonoyta		Bajo Lerma	
	Río Concepción		Alto Lerma	
	Río Sonora		Alto Santiago	
	Río Yaqui		Bajo Santiago	
	Río Mayo		Ameca-Armería	
III Pacifico Norte	Sinaloa Norte		IX Golfo Norte	San Fernando
	Sinaloa Centro			Soto la Marina
	Sinaloa Sur			Pánuco
	Valle de Guadiana	X Golfo centro	Veracruz Norte	
	Tuxpan		Veracruz Centro	
V Pacifico Sur	Costa Grande	X Golfo centro	Bajo Papaloapan	
	Costa Chica		Medio Papaloapan	
	Río Verde-Atoyac		Medio Papaloapan	
	Costa de Oaxaca		La Cañada	
	Complejo Lagunar		Coatzacoalcos	
	Tehuantepec		Tonalá-Coatzacoalcos	
VI Río Bravo	Cuencas Cerradas del Norte	XI Frontera Sur	Bajo Grijalva-Planicie	
	Conchos		Usumacinta	
	Alto Bravo		Bajo Usumacinta-Sierra	
	Medio Bravo		Medio Grijalva	
	San Juan		Lacantún - Chixoy	
	Bajo Bravo		Alto Grijalva	
VII Cuencas Centrales del Norte	Nazas	XII Península de Yucatán	Costa de Chiapas	
	Villa Hidalgo		Peninsular Oriente	
	Sierra Mojada		Peninsular Poniente	
	Comarca Lagunera	Candelaria		
	Aguanaval	XIII Valle de México	Tula	
El Saldo	Valle de México			

Por otro lado, se cuenta con un Consejo Consultivo del Agua, el cual es un órgano colegiado de alcance nacional, integrado por la sociedad civil, que tiene como objetivos principales, el de apoyar el cambio estratégico en el Sector Hidráulico, asesorar a los organismos públicos y en especial a la CNA, así como promover, coordinar y dirigir el esfuerzo de la sociedad para lograr avances sustantivos en una nueva cultura del manejo y uso eficiente del agua en el país.

Los Usos consuntivos del agua por fuente en los sectores Hidroeconómicos en las Regiones Administrativas de México, se presenta en la figura **No. 4.6**. Donde se muestra la distribución de los usos consuntivos por fuente en cada una de las Regiones Administrativas de México, la Región Pacífico Norte es la que aprovecha mayor volumen de agua superficial con 9.078 Km<sup>3</sup>/año para uso agrícola, aquí se encuentran los Distritos de Riego más grandes del país, le siguen la Región Río Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico con 7.183 y 7.104 Km<sup>3</sup>/año respectivamente, la Región Lerma-Santiago-Pacífico, es la que aprovecha mayor volumen de agua subterránea con 4.738 Km<sup>3</sup>/año, para la agricultura, seguido de la Región Noroeste y Cuencas Centrales del Norte con 2.156 y 2.048 Km<sup>3</sup>/año respectivamente, en cuanto al uso público urbano el mayor Volumen de agua subterránea, se usa en el Valle de México con 1.54 Km<sup>3</sup>/año y 0.685 Km<sup>3</sup>/año de agua superficial, seguido por las Regiones Lerma-Santiago-Pacífico, Río Bravo, Península de Yucatán y Balsas, con 1.421, 0.617, 0.558 y 0.551 Km<sup>3</sup>/año respectivamente, respecto al uso del agua subterránea y superficial en la Industria tenemos que la región que más aprovecha el agua en este uso es la Golfo Centro con 0.454 y 0.656 Km<sup>3</sup>/año respectivamente, seguido por la Golfo Norte con 0.41 Km<sup>3</sup>/año de agua superficial y Balsas con 0.301 Km<sup>3</sup>/año de agua subterránea .

Como sabemos a nivel mundial, se otorga cada vez más una mayor atención al agua, principalmente por los problemas que se presentan en diversos países del planeta, debido a la falta de agua. Esto representa una situación de seguridad nacional, ya que sin el agua se ve limitado el desarrollo hidroeconómico y social.

Al respecto en México se han determinado los posibles escenarios al año 2030, por medio de un análisis técnico prospectivo denominado "ATP", el cual retoma lo establecido en la Agenda del Agua al 2030, con sus cuatro ejes principales, que son: Cobertura Universal de Agua; Cuencas en Equilibrio; Ríos Limpios y Asentamientos Seguros contra Inundaciones. Los objetivos principales planteados con respecto al agua (abastecimiento seguro, uso apropiado, obtener mayores beneficios a menor costo y planear inversiones a mediano y largo plazo), para llegar este escenario se realizó un diagnóstico de la situación actual de la oferta y demanda en todos los ejes mencionados, así como la prospectiva al 2030 en cuanto a oferta y demanda correspondiente, y cuál sería la brecha hídrica a disminuir, para lo cual se realizó una subdivisión territorial por células de planeación, que conformarían todo el territorio nacional, obteniendo una cartera de proyectos y programas con sus inversiones para incrementar la infraestructura, para el manejo del agua que garantice su sustentabilidad en el largo plazo, bajo una planeación del recurso hídrico en las regiones hidrológicas administrativas y los estados, identificando los retos, objetivos, estrategias, acciones y proyectos necesarios, para enfrentar los desafíos del futuro, con acciones estructurales y no estructurales para implementar los proyectos de los ejes de la agenda del Agua al 2030.

*1.-Fomentar el uso eficiente del agua en la producción agrícola que incluya la conservación y operación de (los Distritos de Riego, su rehabilitación y modernización, desarrollo parcelario y su ampliación, presas y obras de cabeza, áreas de temporal, así como su desarrollo), organizar y consolidar el desarrollo técnico de las asociaciones de usuarios de los distritos de riego y temporal;*

*2.- Fomentar la ampliación de la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, consistente en la rehabilitación de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, transferencia de tecnología, desinfección del agua suministrada, desarrollo de la infraestructura de agua potable y alcantarillado sanitario en zonas rurales y urbanas, mayor capacitación de los organismos operadores, tratamiento y reuso del agua;*

*3.- Lograr el manejo integral y sustentable del agua en las cuencas y acuíferos, para el logro de lo anterior deberá modernizarse el manejo del agua, su monitoreo cualitativo y cuantitativo, para poder determinar la disponibilidad del agua subterránea y superficial, desarrollo de sistemas de información geográfica, administración de los usos del agua, registro público de los derechos del agua, así como de su inspección y verificación;*

*4.- Promover el desarrollo técnico, administración y financiamiento del sector hidráulico, promoción de la participación de la iniciativa privada en el financiamiento, construcción y operación de la infraestructura*

hidráulica, gestión de créditos u otros mecanismos de financiamiento nacionales e internacionales, modernización del marco jurídico y fiscal, innovación y calidad entre otros;

5.- Consolidar la participación de los sectores usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura de su buen uso (Planeación, integración y consolidación de los Consejos de Cuenca, así como de los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas, movimiento ciudadano por el agua, cruzada nacional por el Bosque y el agua y la comunicación social) y

6.- Disminuir los riesgos y atender los efectos que se producen cuando se presentan las inundaciones y las sequías (rediseño, operación y mantenimiento de los sistemas meteorológicos, hidroclimatológicos, geohidrológicos y de calidad del agua, mayor difusión a la ciudadanía sobre las condiciones hidrometeorológicas, planes de emergencia por inundaciones y sequías, infraestructura para la protección de áreas productivas y centros de población).

Los principales lineamientos de política establecen un desarrollo sustentable, así como considerar al agua un recurso estratégico y de seguridad nacional, el manejo y aprovechamiento integral de las cuencas Hidrológicas, fortalecer la administración de los recursos hídricos, fomentar la participación de la sociedad en el financiamiento de las obras, mejorar los mecanismos para hacer autosuficientes los sistemas de suministro de agua a los sectores usuarios, con objeto de mejorar estos.

El desarrollo de los sistemas de transferencia de escurrimientos en nuestro país, puede integrarse dentro de cada uno de los puntos anteriores, como un primer acercamiento, se han establecido las siguientes **meso regiones**:

1.- Sur-Sureste (incluye a las regiones Península de Yucatán, Frontera Sur, Pacífico Sur, gran parte del Golfo Centro y una pequeña porción del Balsas);

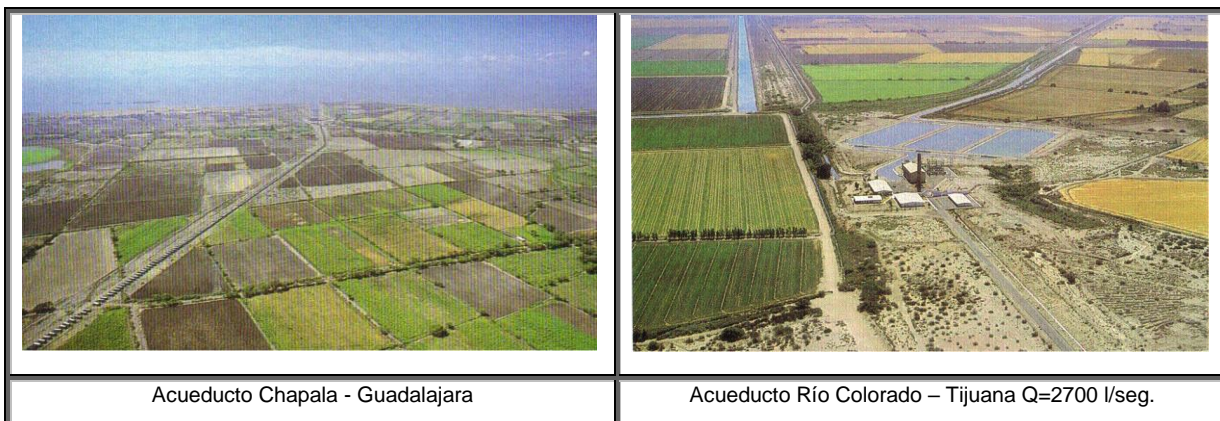
2.- Centro-Occidente (incluye a las regiones Lerma-Santiago-Pacífico, porciones de Cuencas Centrales del Norte, Golfo Norte, Balsas y Pacífico Norte);

3.- Centro (incluye a las regiones Valle de México, una porción del Balsas, Golfo Norte y Golfo Centro y Lerma-Santiago-Pacífico);

4.- Noreste (incluye las regiones Río Bravo, parte de Cuencas Centrales del Norte, Golfo Centro y Pacífico Norte y Noroeste) y

5.- Noroeste (incluye a la Península de Baja California y la mayor parte del Noroeste y Pacífico Norte).

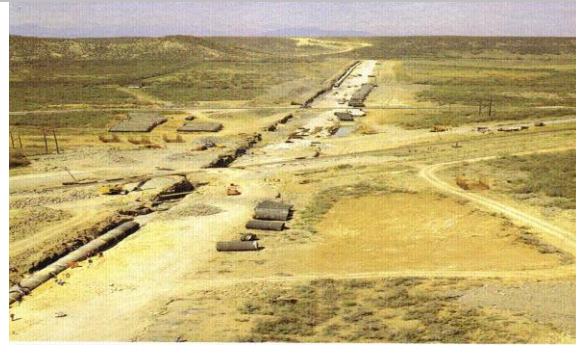
Respecto a las transferencias de escurrimientos existentes en nuestro país, la mayoría de los esfuerzos, se han abocado principalmente para llevar agua a los centros de población y zonas productivas. Como sabemos los centros de población se han desarrollado en sitios con pocos recursos hídricos, por lo que los problemas de desabastó de agua, se agudizan al incrementarse la cantidad de habitantes, tales son los casos de las principales ciudades de nuestro país, como Monterrey VI-Río Tampacán, Guadalajara, Hermosillo, Cancún, Acapulco, Cozumel, Isla Mujeres, Isla de Cd. del Carmen, Querétaro, San Luis Potosí, Durango, Oaxaca y muchas otras, la de mayor relevancia, lo representan, el Sistema Cutzamala que abastece a la Ciudad de México y el acueducto de Monterrey que abastece la ciudad de Nuevo León;



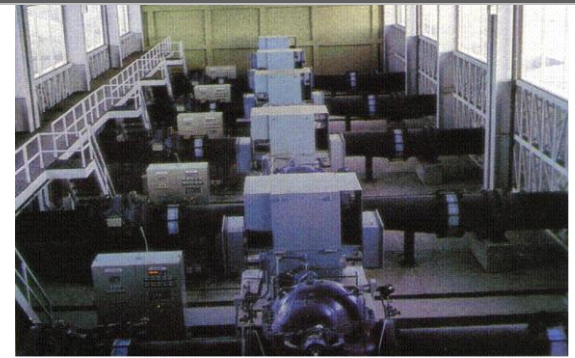




Acueducto Cutzamala



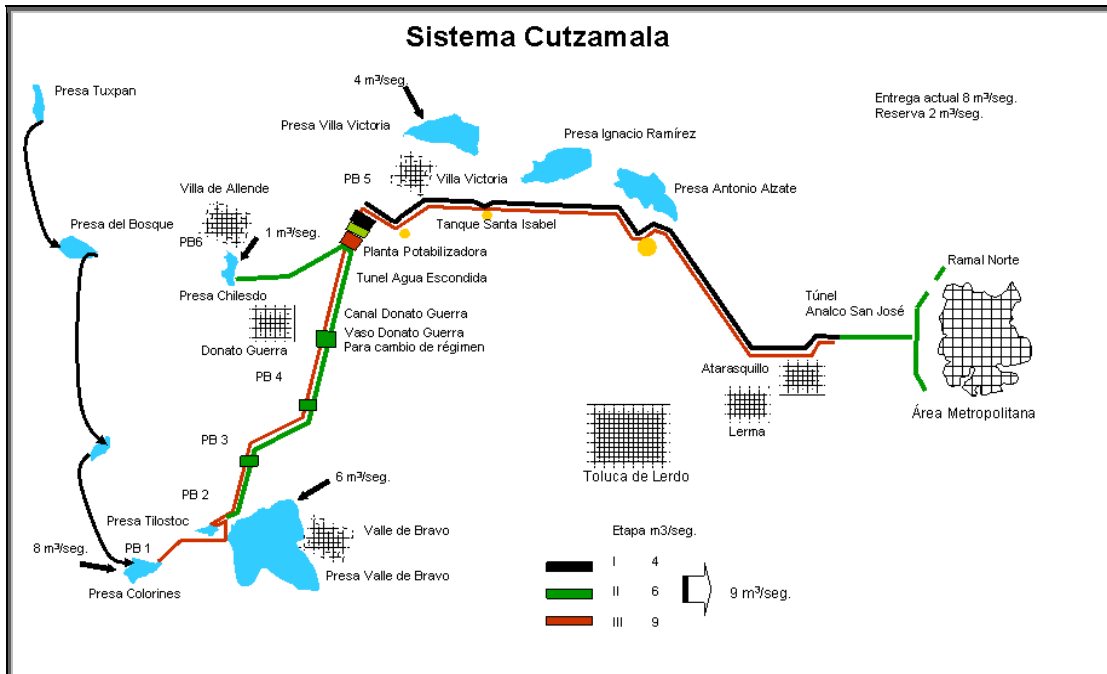
Proceso constructivo del Acueducto Linares – Monterrey Q= 4,000 l/seg

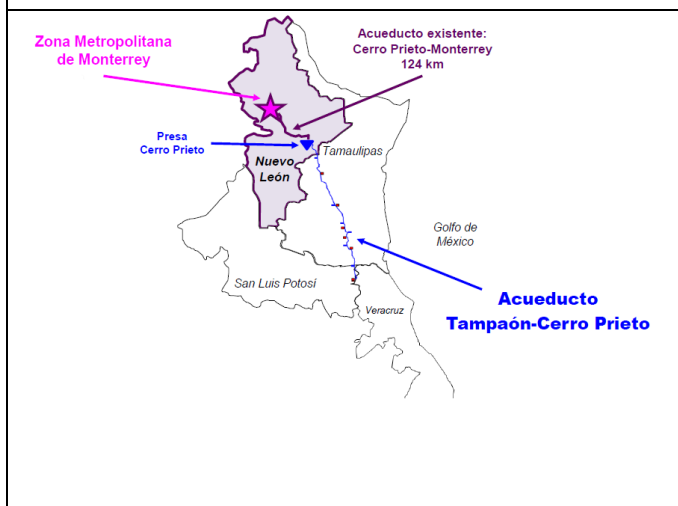


Planta de Bombeo 5 Acueducto Linares - Monterrey



Planta de Bombeo 4 Acueducto Linares - Monterrey







En cuanto a los Sistemas de transferencia de escurrimientos a las zonas productivas tenemos el Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste “SHINO”, como uno de los más importantes proyectos de transferencia de escurrimientos de agua, el cual contempla la interconexión de las cuencas hidrológicas, desde el río Santiago-centro-norte de Sinaloa, hasta el sur de Sonora (Valle del Yaqui), para la transferencia de escurrimientos de agua. Actualmente se tiene una superficie bajo riego de 1' 662,000.

El “SHINO” contempla beneficiar a 1' 883,000 ha., las obras de este sistema de transferencia de escurrimientos contempla obras hidráulicas para los proyectos Elota - Piaxtla (61,630 has), con las presas El Salto, la derivadora Piaxtla y Las Juntas; San Lorenzo-Culiacán-Mocorito, el cual integra la interconexión del sistema de riego San Lorenzo, Culiacán, Humaya y Mocorito (320,000 has), cuenta con cuatro presas de almacenamiento José López Portillo, Sanalona, Adolfo López Mateos y Eustaquio Buelna; río Sinaloa (105,000 has), cuenta con la presa de almacenamiento Gustavo Díaz Ordaz y Guillermo Blake; río Fuerte (265,800 has), presas Huites, Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez, que incluyen el Valle del Carrizo; Valle del río Mayo(92,000 has), con la presa Adolfo Ruiz Cortines; Valle del río Yaqui (220,000 has), con la presa Álvaro Obregón.

El proyecto Baluarte –Presidio (100,000 has.). El volumen de agua utilizado es de 12.491 Km<sup>3</sup> anuales de agua, cabe mencionar que el escurrimiento medio multianual del “SHINO”, es de 20.8 Km<sup>3</sup> de agua, por lo que queda un volumen disponible de 8.309 Km<sup>3</sup> anuales de agua. Por otro lado, también se aprovecha un volumen de agua subterránea de 0.981 Km<sup>3</sup> anuales de agua, de una recarga de 1.696 Km<sup>3</sup> anuales de agua.

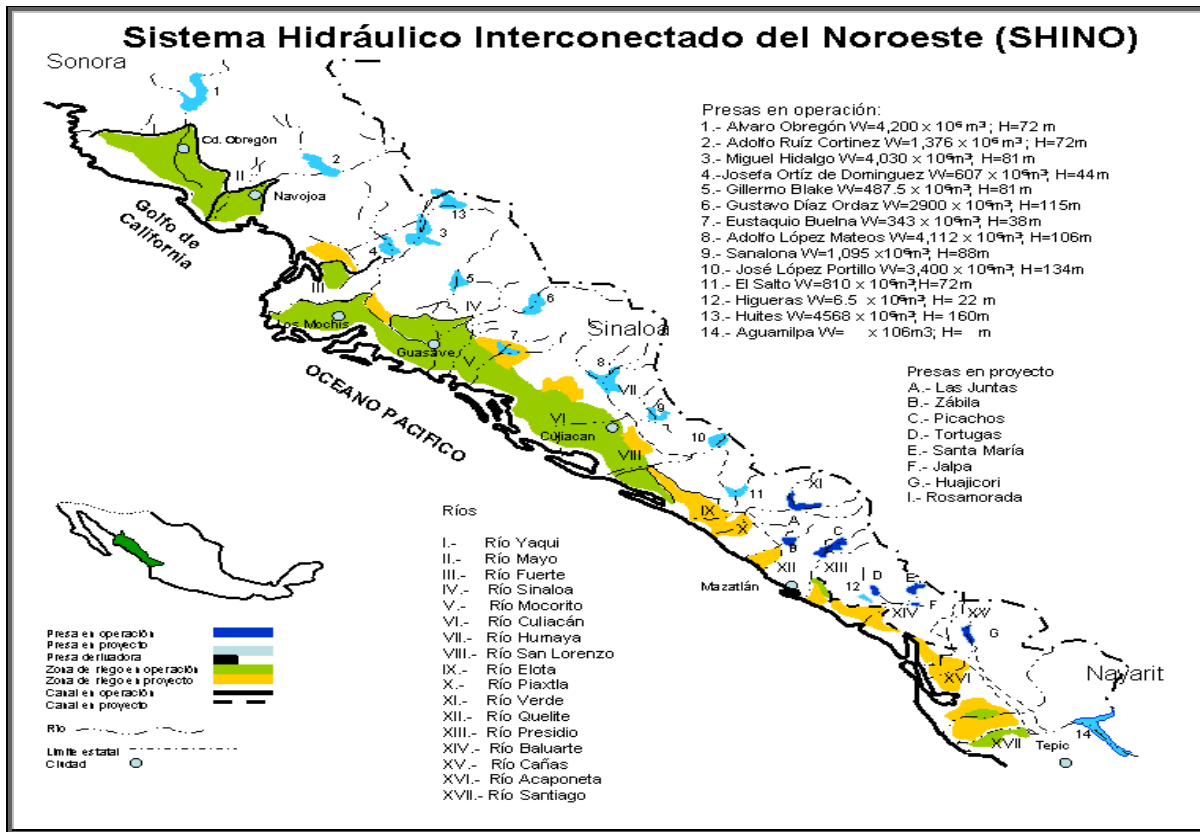
Para poder realizar la distribución de los escurrimientos y las aguas subterráneas, se cuenta con una infraestructura hidráulica complementaria que es la siguiente: 922 pozos profundos, 1,435 Km. de canales principales, 10, 545 Km. de canales laterales, 10,149 Km. de drenes y 18,402 Km. de caminos.

Como podemos observar en el noroeste del país, se encuentran las más importantes zonas agrícolas, muchos otros sistemas de transferencia, se tienen en la mayoría de los Distritos de Riego, ya que en ellos se cuenta con canales de riego, que se extienden por muchos kilómetros desde las obras de cabeza, hasta las zonas de riego, pocos sistemas cuentan con tubería de conducción para disminuir las pérdidas, de agua.

A últimas fechas se han agudizado los problemas del agua en el centro y norte del país, debido a las recurrentes sequías y los sistemas de riego obsoletos, ya que fueron construidos bajo otras condiciones, las pérdidas por conducción son significativas, en algunos casos más de un 65%, lo cual los hace ineficientes, bajo las mismas condiciones, se encuentran los sistemas de distribución de agua en los centros de población urbanos y rurales, por lo anterior deberán de cambiar sus características a fin de hacerlos más eficientes, la modernización de estos sistemas de conducción de agua, a zonas productivas y centros de población, representa una prioridad, con lo cual se ahorrarán importantes volúmenes de agua.

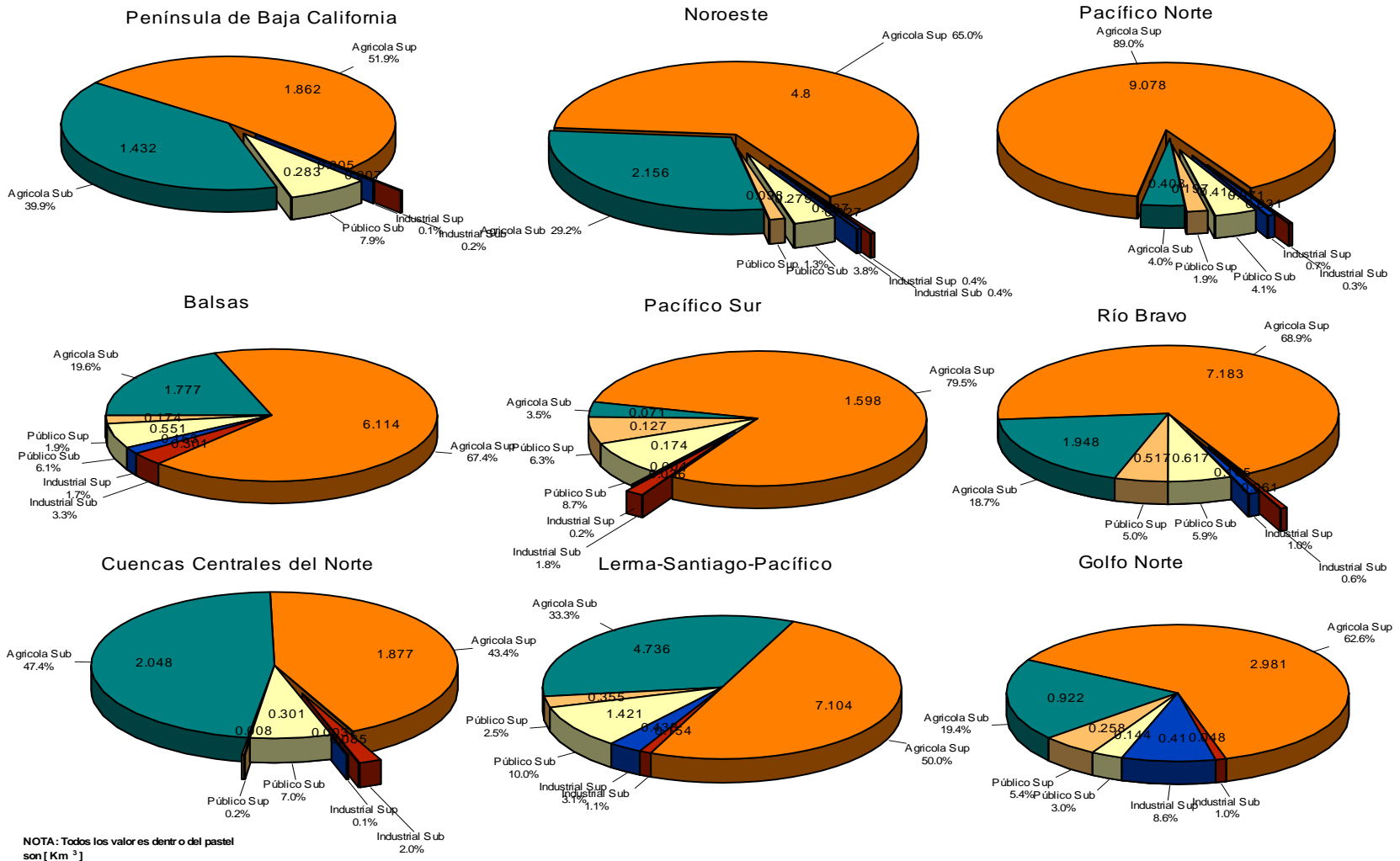
No obstante, es urgente y necesario, establecer las estrategias que nos definan las alternativas de “STEA” entre Cuencas Hidrológicas, Regiones Hidrológicas y Meso regiones, que al mismo tiempo nos

permitan cubrir los déficits de agua, una vez modernizado y mejorado los Sistemas Hidroagrícolas y de Abastecimiento de Agua a los Centros de Población Urbanos y Rurales existentes.

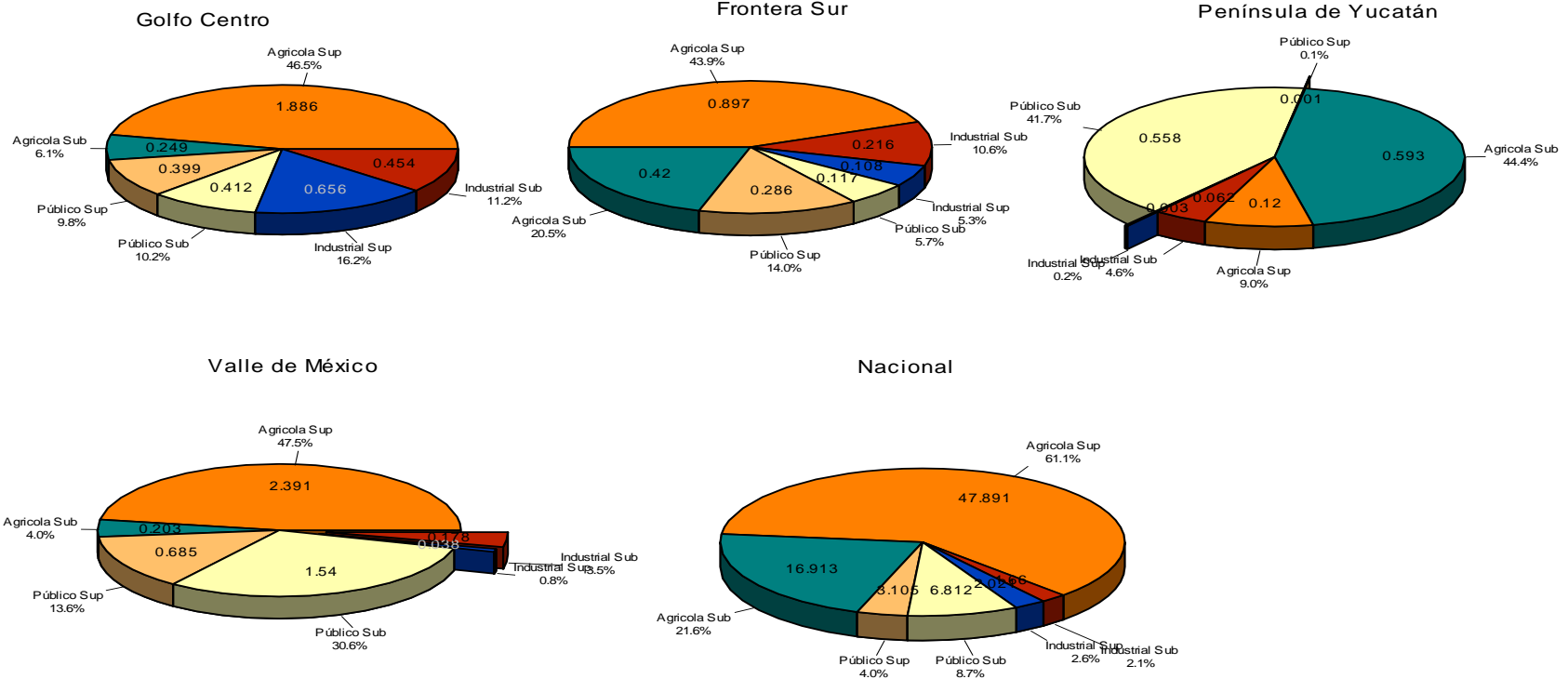


Condiciones viables para el desarrollo de “STEA”, se presentan en las Cuencas Hidrológicas de los estados de Veracruz, Tamaulipas, Tabasco, Chiapas, para beneficiar los estados de Oaxaca, Puebla, Querétaro, Zacatecas, Nuevo León, Chihuahua, Sinaloa y Sonora, así como baja California Centro (Ver Anexos 1-13), asimismo podemos observar el potencial de agua de algunos países ver Fig. No 4.5 A.

**Fig. No. 4.5 Uso consuntivo del agua por fuente en los sectores hidroeconómicos en la regiones administrativas de México**



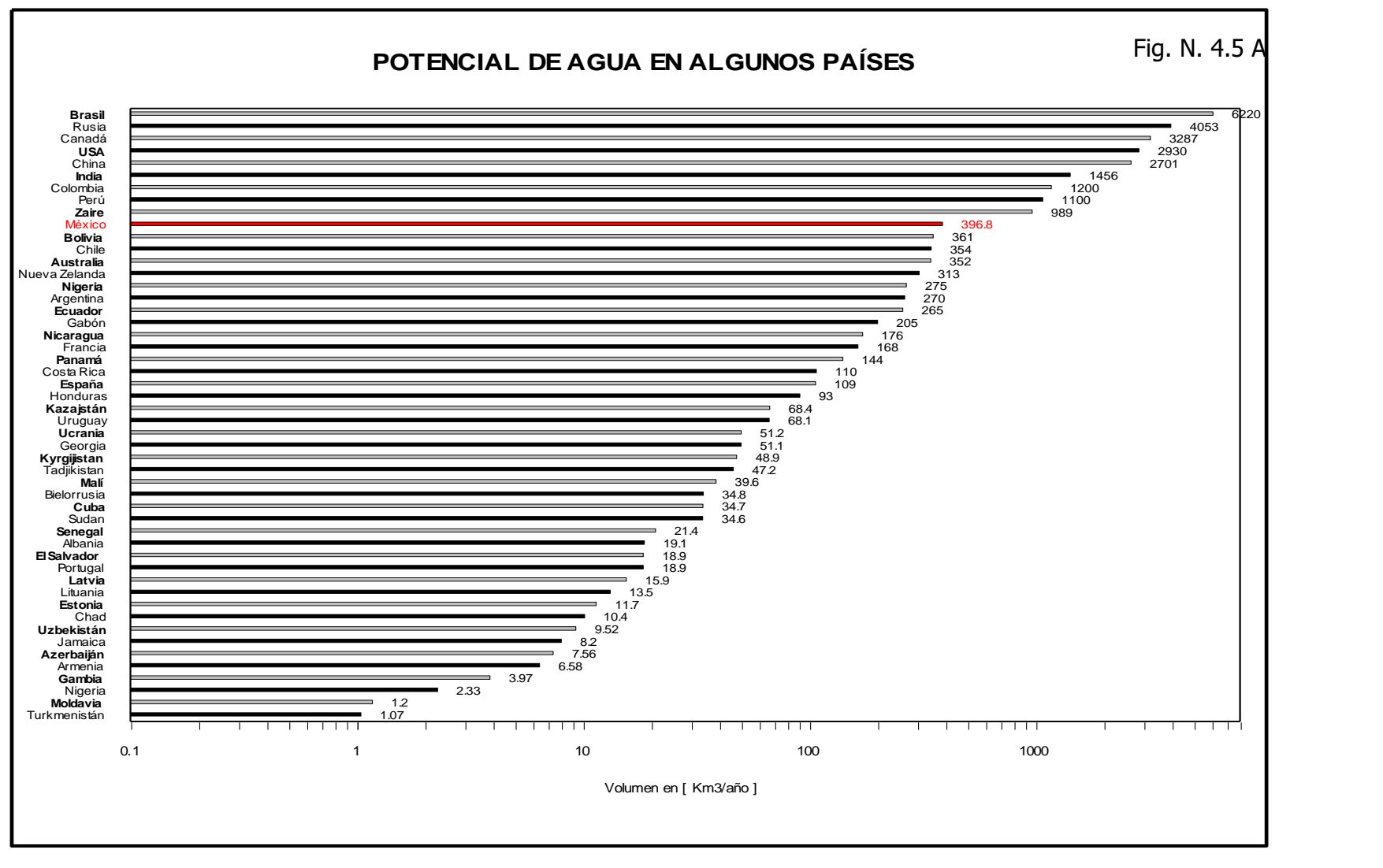
**Fig. No. 4.5 Uso consuntivo del agua por fuente en los sectores hidroeconómicos en la regiones administrativas de México**



**NOTA: Todos los valores dentro del pastel son [ Km<sup>3</sup> ]**

Fuente : Elaboración propia con datos de estadísticas del agua de la CONAGUA 2015

Fuente



Fuente: Elaboración propia con datos del Global Run off Data Centre

## 4.2.- América del sur

### Recursos hídricos, aprovechamientos y fuentes de abastecimiento.

Como sabemos en América del Sur, es donde se encuentra el mayor potencial de los recursos hídricos, el escurrimiento medio multianual de todos los ríos, es de 11,800 Km<sup>3</sup>/anuales, los escurrimientos específicos en la superficie, son de 17.8 millones de Km<sup>2</sup>, lo que es igual a 21 l/s x Km<sup>2</sup>, el suministro de agua para una población de 250 millones de habitantes, es de 130 m<sup>3</sup> por habitante día, lo cual representa cinco veces más, que el promedio mundial, en estas regiones escurre el río más caudaloso del planeta, nos referimos al río Amazonas cuyos escurrimientos en su desembocadura es de 6,923 Km<sup>3</sup>/anuales, que supera en más de cinco veces al río Congo.

En gran parte del continente, se encuentra en condiciones de humedad excesiva, nos referimos al trópico húmedo, las zonas áridas y semiáridas, así como a la costa del pacífico, por ejemplo, el desierto de Atacama y la zona montañosa de Brasil la cual es muy pobre en cuanto a agua subterránea se refiere. La zona montañosa del occidente en los Andes colindante con las zonas semiáridas de la Patagonia, entre la Patagonia y Atacama se encuentra una zona muy extensa y seca denominada meseta central de los Andes.

El crecimiento poblacional en este continente, mantiene un ritmo muy acelerado de crecimiento ya que en 1950 se contaba con una población de 112 millones de habitantes, para el año de 1983 se registraron 250 millones de habitantes y para el año 2000 se alcanzó la cifra de 420 millones de habitantes, es decir para 1980 representaba el 65%, para el año 2000 significó un 75% de crecimiento. Al inicio de la pasada década la superficie bajo riego era de 1 a 1.2 millones de hectáreas. En la actualidad por información que proporciona la FAO, se cuenta con más de 8 millones de hectáreas de las cuales, más del 75% se encuentran ubicadas en los siguientes países Brasil, Argentina, Chile y Perú.

La dinámica del uso del agua en América del Sur se evaluó considerando cuatro regiones económicas: norte, oeste, sur y central. La región norte comprende la porción extrema del continente, la cual incluye cinco países Colombia, Venezuela, Surinam y las Guayanas, aquí se concentraba en 1980, 43 millones de habitantes, de los cuales el 75% de habitantes viven en las zonas montañosas. Esta región es la más rica en cuanto a recursos hídricos a nivel mundial, cubre una superficie: 6 millones de Km<sup>2</sup>, el escurrimiento medio multianual representa 3100 Km<sup>3</sup>/anuales. Los ríos más caudalosos son: El Orinoco con un escurrimiento medio multianual de 914 Km<sup>3</sup>/anuales y el Magdalena con un escurrimiento medio multianual 260 Km<sup>3</sup>/anuales. El acceso de humedad en esta región, es la principal causa de la existencia de vastas zonas pantanosas, así como una sobresaturación de humedad en los suelos. Cabe mencionar que las aguas transportan una gran variedad y cantidad de bacterias, por lo que para evitar enfermedades la población sólo consume agua de lluvia.

La región oriental de Brasil ocupa gran parte de la cuenta hidrológica del río Amazonas, asimismo parte de las cuencas de los ríos, por donde escurren más de 725 Km<sup>3</sup>/anuales, conjuntamente con el río San Francisco. Hay que destacar que esta región se caracteriza por contar con un clima sumamente húmedo, únicamente la porción extrema oriental de la región, es decir donde se encuentra la cuenca hidrológica del río San Francisco, presenta índices de humedad moderada a insuficiente. En esta región la población es de 125 millones de habitantes, de las cuales el 62% viven en las zonas urbanas. El escurrimiento medio multianual total en los ríos de la región sobrepasa los 6150 Km<sup>3</sup>/anuales, es decir un poco más de la mitad de los recursos fluviales del continente.

La región occidental, se extiende por una franja, que va a todo lo largo de la costa del Océano Pacífico, aquí se ubican tres importantes países Ecuador, Perú y Chile. La red hidrográfica es representada por la cuenca alta del río Amazonas y sus afluentes, así como pequeñas corrientes que provienen de las zonas montañosas de los Andes en el Océano Pacífico, la suma total de los escurrimientos medio multianual, en esta región es de 1,710 Km<sup>3</sup>/anuales. En esta franja costera las precipitaciones en su mayoría no son muy altas, variando de 100 a 200 milímetros, por su parte media de la franja, tenemos el desierto de Atacama donde, se registran únicamente precipitaciones



de 5 a 10 milímetros, no obstante, en sus extremos se incrementa la precipitación sustancialmente de 3,000 a 5,000 milímetros. Toda la franja costera a excepción del extremo sur tiene una humedad natural, que varía de 1,000 a 1,500 milímetros. La población que sé cubre esta región es de 37 millones de habitantes, de los cuales el 65% viven en las zonas urbanas.

La región central incluye los países de Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay, cabe destacar que ésta es una región, donde se generan importantes escurrimientos con respecto al continente, la población alcanza los 39 millones de habitantes, de estos el 79% viven en las zonas urbanas, los escurrimientos medios multianuales sobrepasan los 812 Km<sup>3</sup>/anuales. Prácticamente toda la región, a excepción de la cuenca baja del río Paraná, se encuentran en una zona de baja de humedad, no obstante, en Argentina se presentan excelentes condiciones para el desarrollo hidroagrícola. La dinámica de los usos del agua, que se practica para cubrir las demandas de la población, la industria, la energía termoeléctrica, la agricultura, va aunada a las pérdidas que se tienen por la evaporación en los desperdicios de agua, en los almacenamientos, dicha dinámica para un período de 100 años se muestra el comportamiento en América del Sur, en el **Tabla No.4.8.**

**Tabla No.4.8 Dinámica del uso del agua en Sudamérica por regiones, en Km<sup>3</sup>/año**

Región	Año								
	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000
Norte	1.7	4.2	6.4	9.1	13.0	17.4	22.0	24.1	26.3
	0.82	2.12	3.2	4.59	6.69	9.08	11.1	12.1	13.3
Este de Brasil	1.0	2.1	2.88	7.3	13.6	25.2	43.0	49.0	54.6
	0.43	0.79	1.1	3.18	6.44	12.8	21.3	25.4	28.5
Oeste	8.8	19.9	26.7	29.4	33.1	38.8	45.1	48.0	50.8
	6.9	14.9	18.7	19.4	20.9	22.8	24.5	25.3	26.1
Centro	3.6	6.4	13.3	19.8	27.4	36.1	42.2	46.1	49.9
	2.6	4.49	8.71	12.4	17.1	22.1	25.0	26.6	28.1
Total	15.1	32.6	49.3	65.6	87.0	117.0	152.0	167.0	182.0
	10.8	22.3	31.7	39.6	51.1	66.7	81.9	89.4	96.0

Nota: En el numerador. - Uso Total; en el denominador. - Uso consuntivo.

Fuente: Shiklomanov I.A., Klige.

La formación que contiene el Tabla anterior, es el resultado de una serie de cálculos con los cuales se restablece la información faltante, debido a que no existe un registro continuo sobre el uso del agua para los períodos que se muestran. Por otro lado existe gran cantidad de bibliografía publicada, principalmente después de los años setentas, donde se analiza esta literatura podemos observar, que refleja de una u otra manera, los problemas de desarrollo en las actividades hidroeconómicas, la falta de agua en los centros de población, sistemas hidroagrícolas e industria, con apoyo de estos datos se ha estimado la dinámica de los usos del agua. La información correspondiente a las superficies agrícolas, fue publicada en los documentos de la FAO, donde se muestra las perspectivas y pronósticos para algunos países y regiones del planeta. Para el continente de América del Sur, el uso del agua en la agricultura varía de 5000 a 12000 m<sup>3</sup> por hectárea, aquí se registra el crecimiento de la demanda de agua de un 20 a un 50%. La demanda específica para las zonas rurales, en promedio es de 40 a 90 litros por habitante día, para la zona urbana es de 200 a 250 litros habitante día, respectivamente.

El uso del agua para la industria y la generación termoeléctrica, para todas las regiones se estimó en base a métodos alternos, donde se tomó en calidad de datos análogos, la información generada por algunos países, asimismo orientando la dinámica de tendencia del sector industrial en los países en vías de desarrollo, en las últimas decenas de años, así como las tendencias de crecimiento poblacional.

En el **Tabla No.4.8** observamos que un mayor consumo de agua, se manifiesta en las regiones del norte donde la cantidad específica de recursos hídricos, es muy grande. En el **Tabla No.4.9**, observamos la proporción que le corresponde a cada uno de los sectores usuarios, así como el total por continente. El total del consumo de agua para los diversos usos en América del Sur a principios del siglo pasado, y hasta el año 2000, se incrementó en 7.5 veces más, es decir 216 Km<sup>3</sup>/anuales, el uso consultivo del agua resulta de 71 Km<sup>3</sup>/anuales. Este volumen es de 83% del total, corresponde a la agricultura y su uso consultivo representa también el 83%.

**Tabla No. 4.9 Dinámica del uso del agua en Sudamérica por tipo de usos y actividades económicas, en Km<sup>3</sup>/año.**

Uso del agua	Año									
	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	
Población Millones	-	-	110	144	188	240	294	326	356	
Riego	13.6	28.1	40.6	51.1	61.3	77.5	92.8	97.9	101	
	10.3	21.3	30.1	36.8	44.0	54.6	64.7	68.3	70.8	
Sup. de riego, 10 <sup>6</sup> ha.	1.20	2.20	4.81	4.97	6.24	7.9	8.76	9.06	9.35	
Publico Urbano	0.7	2.6	4.7	6.5	10.3	15.9	25.9	28.8	32.1	
	0.2	0.6	0.8	1.0	1.5	2.2	3.4	3.6	3.7	
Industria	1.2	1.8	3.9	7.3	11.3	15.9	22.3	25.8	30.3	
	0.2	0.3	0.6	1.0	1.5	1.9	2.5	2.9	3.4	
Embalses	0.0	0.1	0.2	0.7	4.1	8.0	11.3	14.6	18.0	
Total	15.1	32.6	49.3	65.6	87.0	117.0	152.0	167.0	182.0	
	10.8	22.3	31.7	39.6	51.1	66.7	81.9	89.4	96.0	

Nota: En el numerador. - Uso Total; en el denominador. - Uso consultivo.

Fuente: Klige. Shiklomanov I.A.

En los **Tablas 4.10 y 4.11**, se aprecia como la demanda total y su uso consultivo, representan un porcentaje muy bajo. La dinámica del suministro de agua para una unidad de superficie y por cada habitante (considerando su uso consultivo), se aprecia en el Tabla 4.12, como se observa la demanda de agua por cada Km<sup>2</sup> de superficie, es de 1, 200,000.00 m<sup>3</sup>/año, en la región norte, hasta 178, 000 m<sup>3</sup>/año, en la región central y por cada habitante varían de 73, 000 a 20, 500 m<sup>3</sup>/año. Los datos anteriores nos muestran que son muy altas sus demandas, con respecto a su disponibilidad para el presente y el futuro.

**Tabla No. 4.10. El volumen de escurrimiento anual y uso del agua en América del Sur**

Región	Q <sub>n</sub> Km <sup>3</sup> /año	Uso del agua, en Km <sup>3</sup> /año				Uso del agua, en % del escurrimiento			
		1980		2000		1980		2000	
		Total	Consuntivo	Total	Consuntivo	Total	Consuntivo	Total	Consuntivo
Norte	3130	15.4	11.0	32.9	19.5	0.49	0.35	1.05	0.62
Este de Brasil	6150	23.2	10.3	48.1	20.8	0.38	0.17	0.78	0.34
Oeste	1710	40	29.9	64.5	44.4	2.33	1.74	3.76	2.59
Centro	812	32.6	19.7	70.3	31.3	4.0	2.4	8.7	3.9
Sur	11800	111	71	216	116	0.94	0.60	1.83	0.98

Fuente: Klige., Shiklomanov I.A.

**Tabla No. 4.11 Dinámica del crecimiento poblacional y abasto de agua en América del sur**

Región	Superficie en Mill. Km <sup>2</sup>	Año	Población en Mill. Hab.	Abasto de agua	
				10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /año en un Km <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /año por cada hab.
Norte	2.55	1950	17.4	1220	179
		1960	24.4	1220	128
		1970	32.9	1220	94.8
		1980	42.7	1220	72.9
		2000	83.0	1220	37.4
Este de Brasil	8.51	1950	53.4	722	155
		1960	71.5	722	85.9
		1970	95.3	722	64.5
		1980	122	721	50.3
		2000	190	720	32.2
Oeste	2.33	1950	17.2	723	97.9
		1960	21.9	725	77.1
		1970	28.8	724	58.6
		1980	36.7	723	45.8
		2000	65	717	25.7
Centro	4.46	1950	23.6	180	34
		1960	28.8	180	27.8
		1970	33.3	178	23.8
		1980	38.7	178	20.5
		2000	75	175	10.4
Sur	17.88	1950	111.6	656	105
		1960	146.6	656	79.9
		1970	190.3	655	61.5
		1980	240.1	654	48.7
		2000	413	652	28.2

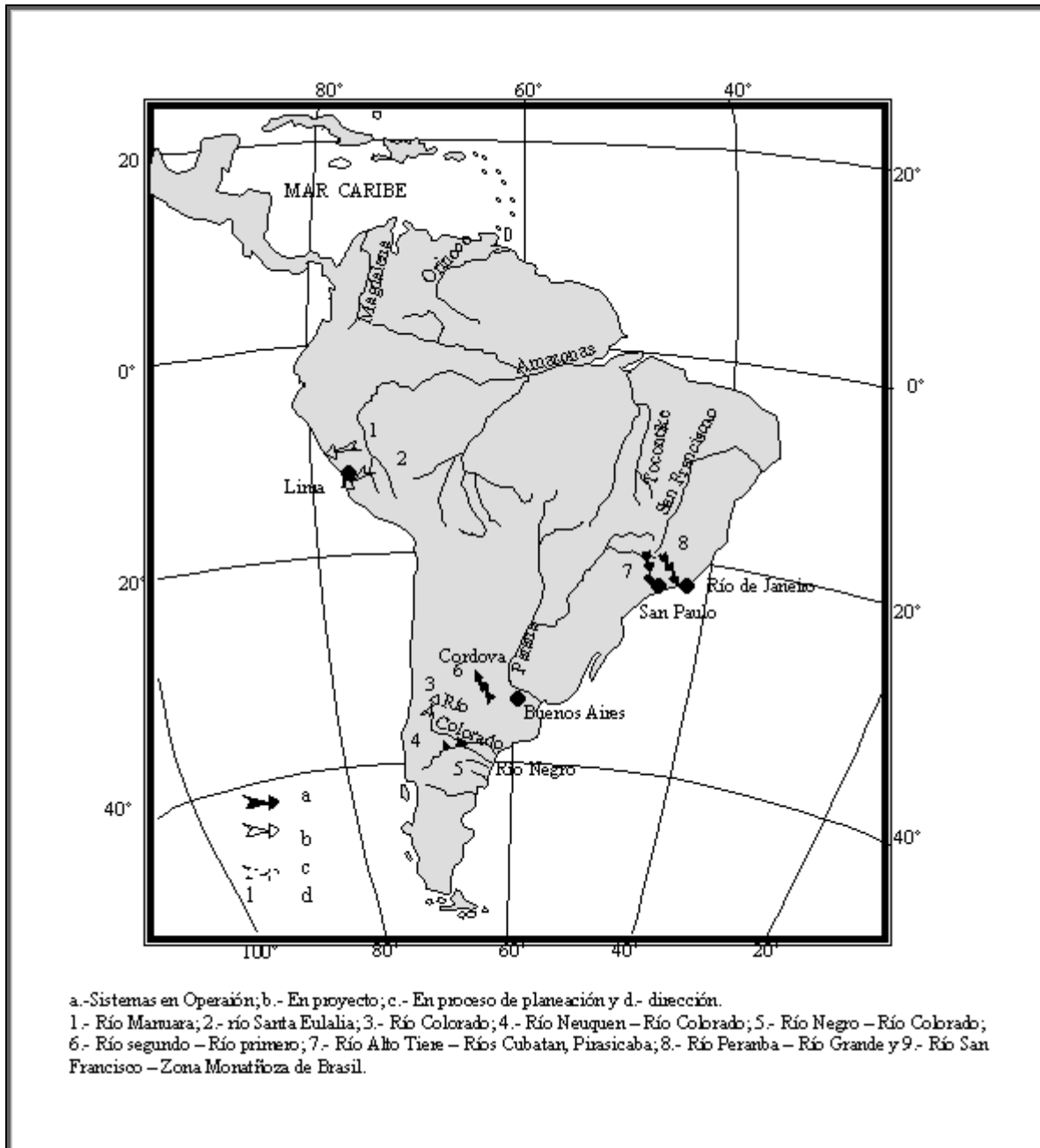
Fuente: Klige, Shiklomanov I.A.

#### 4.2.1.- Transferencia de escurrimientos

En virtud de contar con una alta disponibilidad de agua, las demandas actuales y futuras, por el momento no representan ningún problema: Por lo anterior la transferencia de escurrimientos no resulta una necesidad imperiosa. No obstante, en muchos países con mayor desarrollo en este continente, no solamente se plantean proyectos de sistemas de transferencia de escurrimientos, si no también, se están ejecutando obras hidráulicas de este tipo, porque muchas obras de transferencia de escurrimientos ya se han construido.

Cabe mencionar que en las provincias centrales de Argentina en los años setentas, se diseñó la transferencia parcial de escurrimientos del río Negro y sus afluentes entre ellos el río Colorado, aguas arriba del río Atuel. En la actualidad opera una obra de desvío de los escurrimientos, del río Neuquen hacia el río Colorado. Adicionalmente se ha iniciado la construcción de un complejo hidráulico para unir dos ríos de mediana capacidad, denominados primero y segundo cuyas aguas descargan a la laguna del mar Chiquita, con objeto de suministrar suficiente agua a importantes centros industriales de la ciudad de Córdoba (Ver Figura No. 4.6).

A los problemas de redistribución de los recursos hídricos en Brasil, se le da una especial atención para atender la demanda de agua en la zona industrial occidental de Brasil la cual se desarrolla rápidamente. En los últimos años, se creó un organismo bajo la dirección de un comité designado especialmente para desarrollar proyectos integrales y para un uso y aprovechamiento múltiple de los recursos hídricos superficiales (**ver figura No. 4.6**).



Fuente: Comisión de Hidrología de la UNESCO

**Fig. No. 4.6 Transferencias en Sudamérica.**

1.-El plan de aprovechamiento de los recursos hídricos de la región de San Paulo, el cual incluye la distribución de los escurrimientos entre los ríos del alto Tite, Cubatan, Suquia, Jaguar y Pirisiboco, con objeto de abastecer de agua a la ciudad de Sau Paulo y el transporte fluvial. Esta planificación

comprende el período de ejecución de 1981 al 2000. El volumen total a transferir es de 3 a 4 Km<sup>3</sup>/anuales. Actualmente se está transfiriendo agua de la cuenca alta del río Tieta hacia el río Cubatán, así como del río Jaguar hacia el río Pirsicoba.

2.-La transferencia parcial de los escurrimientos del río San Francisco hacia la zona semidesértica de la meseta brasileña, para abastecer de agua a los centros de población, así como a zonas de riego.

3.-Unir los ríos Tocontini y San Francisco, esta es una parte de la alternativa del punto anterior.

4.-Proyecto Internacional: Unir los ríos Iricuix y Zhacui, que permitan formar un gran canal fluvial entre los puertos de Buenos Aires y Puerto Alegre.

5.-Transferencia parcial de los escurrimientos del río Paraibo, hacia el río Grande, con objeto de mejorar el suministro de agua para la ciudad de Río de Janeiro y la generación adicional de hidroenergía.

Gran contraste observamos en los territorios chileno, peruano y uruguayo, respecto a la disponibilidad de agua. En Perú y Uruguay, se elaboraron proyectos de transferencia de escurrimientos, en los años sesenta llevada a cabo por técnicos italianos "ITALCONSULT", el proyecto hidroagrícola de la Pampa-Olmos, fundamentada en la transferencia de una parte de los escurrimientos del río Tabacanos, Huancabamba y Manuara pertenecientes a la cuenca del río Amazonas, cruzando los Andes a través de un túnel, el cual irrigará las zonas áridas de la Pampa donde se cuenta con tierras con suelos fértiles de la Pampa "Olmos", en base a la transferencia de una parte de los escurrimientos, del río Tabacanos, Ucabamba y Manuara pertenecientes a la cuenca del río Amazonas, pasan a través de los Andes por medio de un túnel de 19 kilómetros, con un diámetro de 4. 8 metros y una capacidad de conducción de 82 m<sup>3</sup>/s (volumen total anual de 2. 6 Km<sup>3</sup>), para irrigar las zonas áridas, con suelos fértiles de la Pampa "Olmos", en la zona costera del pacífico.

El desnivel entre el túnel de salida hasta la descarga en la presa de almacenamiento, es de 800 metros, aquí se planteó un sistema de caídas en cascada con plantas hidroeléctricas, las cuales producirían una capacidad instalada de generación de 0. 5 millones de Kwt. Este sistema está diseñado para abastecer también una superficie de riego de 100,000 ha. En la elaboración de este proyecto participaron importantes especialistas de Rusia. Adicionalmente a este proyecto en Perú, también se elaboró un proyecto, que considera la transferencia de escurrimientos cruzando los andes y parte del río Mantoro, el cual pertenece a la cuenca del río Santa Eulalia. Con esta agua se pretende cubrir el déficit de la ciudad de Lima.

### **4.3.- Eurasia**

Como sabemos, es uno de los continentes más grandes del planeta, con una superficie de 54 Millones de Km<sup>2</sup>. Es decir, el 36% de la superficie continental. Las regiones más habitadas del subtropical y trópico húmedo, se ubican en el delta de los ríos Ganges, Brahmaputra, Yang-Tze Kiang, Archipiélago de Malasia y Ceilán, donde la densidad de población es muy alta 500 habitantes por cada kilómetro cuadrado.

La suma total de los recursos hídricos superficiales en Eurasia, es del orden de 17,600 Km<sup>3</sup> anuales, de los cuales 3200 Km<sup>3</sup> anuales pertenecen a Europa y 14,400 Km<sup>3</sup> anuales corresponden a Asia. La disponibilidad de agua por cada habitante, es de 13. 7 m<sup>3</sup> al día, dos veces menor que la media mundial.

La enorme extensión territorial de este continente de norte a sur, es de 10,000 Km., de este a oeste es de 14,000 Km... Aquí se encuentra la población más alta del mundo, donde la renovación de los recursos hídricos influye considerablemente sobre la distribución de humedad y clima dentro de este continente. Lo anterior ocurre en vastas zonas desérticas, pantanosas, así como de escurrimientos de gran consideración.

Como sabemos gran parte de Europa a excepción de las regiones de los sistemas peninsulares de los Pirineos Apeninos, los Balcanes, las costas del Mar Negro y la zona esteparia del Caspio, se

encuentran en condiciones de humedad óptima a saturada. La alta densidad poblacional y el nivel de desarrollo industrial, paulatinamente provocan el deterioro de la calidad del agua de la mayoría de las corrientes superficiales existentes.

La gran carga de contaminantes químicos, biológicos, que se encuentran diluidos en las aguas superficiales, ha complicado severamente el abasto de agua a los centros de población urbana y rural, así como a la industria de estas regiones.

Como muestra simplemente mencionaremos un caso que es del conocimiento general, nos referimos a la degradación que tuvo en su momento el río Rin. Esta corriente superficial tan importante, llegó a un nivel de contaminación tan alto, que todas las naciones por donde atraviesa este río tuvieron que unir esfuerzos para sanear toda la cuenca hidrológica, implementando obligatoriamente en todas las descargas el tratamiento de las aguas residuales, industriales, municipales, agrícolas, comunales, etc.

Como podemos ver el rescate de esta importante cuenca hidrológica unió voluntades, logrando la inversión de importantes sumas de dinero que aportaron todas las naciones, a fin de sanear las aguas del río Rin.

La construcción de sistemas innovadores de tratamiento de aguas residuales de diversas características y capacidades, permitió en la actualidad que la calidad del agua esté en niveles permisibles para el desarrollo de la vida acuática y preservación de los ecosistemas. Esta muestra de solidaridad entre los sectores usuarios debe servir como muestra y ejemplo para aplicarse, en los consejos de cuencas hidrológicas de nuestro país y próximamente en los Organismos de Cuenca para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y los ecosistemas que se encuentran en desequilibrio.

Más de la mitad del continente asiático, principalmente la región sur (sin incluir la zona costera del Océano Pacífico y las islas del Océano Índico), donde la falta de humedad, así como el déficit de los recursos hídricos en algunas zonas con precipitaciones que varían de 1500 a 2000 milímetros, ponen en serias dificultades el desarrollo sustentable de sus habitantes. Cabe mencionar que es de todos conocido que, en Asia, se encuentran las principales zonas agrícolas del mundo, cerca de 67% del total de la superficie está bajo riego, por tanto, Asia, es un fuerte consumidor de agua dulce para mantener todos estos sistemas hidroeconómicos. El desarrollo hidroagrícola para muchos de estos países asiáticos representa la principal fuente de crecimiento económico, que muchas de las veces se ven limitado por la falta de agua.

#### 4.3.1.- Los problemas que hay que enfrentar, para poder efectuar la transferencia de escurrimientos en los países de Asia y Europa

En las actividades hidroeconómicas en el continente euroasiático, son muy característicos dos tipos de problemas: Primero la conservación de la calidad del agua; y segundo el déficit de agua en las regiones áridas, debido al uso intensivo del agua en actividades agrícolas. Debido a la contaminación y sobreexplotación de las aguas superficiales se complica su uso, ya que disminuye considerablemente la calidad del agua, abatiéndose los niveles de conservación en muchos cuerpos aguas superficiales intercontinentales.

En los últimos años los países europeos, han dado mayor atención a los problemas de contaminación. Tal es el caso del río Rin donde disminuyó su calidad, por la gran cantidad de industrias que descargaban sus aguas residuales sin ningún tratamiento. Como consecuencia de lo anterior se realizaron una serie de proyectos encaminados a mejorar la calidad del agua superficial y subterránea, haciendo un uso eficiente del agua mejorando el manejo de los escurrimientos en las presas de almacenamiento, incrementar la protección ambiental, evitando la contaminación de los cuerpos de agua, una mayor eficiencia en los sistemas de riego, así como los sistemas de drenaje.

Para el cumplimiento de estas estrategias, se han creado comisiones entre los países, comprometiéndose al estudio de los recursos hídricos, y el comportamiento hidrológico de los

grandes ríos, con objeto de plantear en el futuro próximo un manejo y aprovechamiento integral de las cuencas hidrológicas de los ríos Rihn, Danubio, Indo, Nish, Mekong y los ríos de China.

Para lograr lo anterior se construyeron y diseñaron una gran cantidad de sistemas de transferencia de escurrimientos de pequeños volúmenes. Cabe mencionar que en la actualidad la redistribución territorial de los recursos hídricos, se efectúa con mayor impulso en los siguientes países Canadá, Rusia, La India, Pakistán y China. En estos países, se elaboran proyectos de grandes dimensiones entre cuencas hidrológicas y regiones hidrológicas.

Este tipo de transferencias de agua tiene lugar en la mayoría de las cuencas hidrológicas del mundo, con mayor o menor medida donde se tienen grandes zonas de riego como en España, Yugoslavia, Israel, Irán, Irak, Bangla Desh, China y otros.

Como ejemplo mencionaremos las obras realizadas en Irak donde se concluyó el proyecto integral denominado "TARTAR", con el cual se redistribuyen los escurrimientos de los ríos Éufrates y Tigres, para usos múltiples, como el riego y protección contra inundaciones de las poblaciones de Bagdad y las planicies de Mesopotamia. Este sistema incluye tres grandes canales el primero comprende un tramo denominado Tigres-Tartar, construido en 1956, el segundo tramo denominado Tartar-Éufrates concluyó en 1976 y el tercer tramo denominado Tartar-Tigres concluyó en 1999, la capacidad de conducción hidráulica es de 10,000, 1100 y 600 m<sup>3</sup>/seg. La obtención de los volúmenes adicionales de agua, que garanticen el suministro de agua a las tierras agrícolas, por un volumen de 20 Km<sup>3</sup>/anuales, esto puede ser factible con el almacenamiento de agua que se realiza en la laguna de Tartar.

Al suroeste de España concluyeron los trabajos de construcción de obras hidráulicas del complejo Taxco-Sura, que se compone de una presa de almacenamiento y un sistema de riego, la transferencia del agua en este sistema fue posible ya que se presentaron condiciones adecuadas, para transferir los escurrimientos del río Taxco al río Sura, el volumen a transferir es de 2 a 3 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, para regar 240,000 hectáreas pertenecientes a las provincias de Valencia, Alicante, Murcia, Almería. Parte de este importante volumen de agua es también aprovechado por el sector industrial y para el suministro de agua a los centros de población.

Varios proyectos de transferencia de escurrimientos, se ejecutaron en Israel en los años sesenta, del lago de Tiberia pertenecientes a la cuenca del río Jordán, se transfirió agua hacia el suroeste de Israel, con objeto de abastecer a los centros de población y zonas de riego que se encuentran a lo largo de la línea magistral está compuesta de canales, túneles y tubería de grandes dimensiones, el volumen de agua que se transfiere es de 0.4 Km<sup>3</sup>/anuales.

Gran interés representa el proyecto que unirá al mar Muerto con el Mar Mediterráneo, el desnivel que habrá que salvar es de 402 metros, permitiendo a su vez la generación de energía hidroeléctrica y el riego. Por primera vez se planteó el proyecto en el año de 1902, finalmente en el año de 1982, se organizó una empresa para su construcción, planteándose tres alternativas del trazo de la línea magistral, la primera etapa, parte del norte de la ciudad de Haifa, la segunda etapa parte de la porción media cercana a Jerusalén y la tercera etapa parte del sur de Haifa en el sector de Gasa, adicionalmente se analizó otra alternativa, la cual se refiere en juntar el mar Muerto con el mar Rojo.

De todas estas alternativas la que mejor solución presenta por sus características, es la tercera, esta incluye siete kilómetros de acueducto subterráneo, el cual cruza por debajo del sector agrícola de Gasa, un canal de 22 kilómetros que llega hasta la ciudad de Versaba y un túnel de 80 Km. ubicado a 500 metros de profundidad, cabe mencionar que en la actualidad este túnel es el más largo del mundo, la transferencia de agua es de 1.6 Km<sup>3</sup>/anuales, la cual deberá elevarse desde la cota nueve hasta la cota 393 metros de elevación.

También debemos mencionar que existen muchos otros proyectos de transferencia de escurrimientos de diferente magnitud, que van de 0.5 a 1.0 Km<sup>3</sup>/anuales, para transportarse a distancias que varían de 100 a 200 Km., con objeto de abastecer de agua a los centros de población y zonas industriales en Londres, Bremen, París, Afín, Singapur, Tokio y muchos otros.

En Bético Bretaña se proyectó un sistema para suministrar agua a partir de los escurrimientos del río Ili Uz, hacia la cuenca del río Támesis por un volumen de 0.1 a 0.2 Km<sup>3</sup>/anuales, el cual desemboca al golfo de Hans del mar del Norte.

4.3.2.- Descripción de los sistemas de transferencia de escurrimientos más grandes de Rusia, así como de los países pertenecientes a la cuenca del río Danubio, China, la India y Pakistán.

En Rusia la redistribución territorial de los escurrimientos, se presenta como una posibilidad para solucionar futuros problemas de suministro de agua, que sustentan el desarrollo hidroeconómico de esta nación. La justificación para realizar este tipo de proyectos, así como preparar las bases que nos permitan determinar la conveniencia o improcedencia de realizar una redistribución territorial de los escurrimientos en las cuencas y regiones hidrológicas, puede ser representado como un factor objetivo, que refleja las condiciones naturales de este país, así como sus particularidades respecto a la distribución territorial de su población, así como el manejo de los recursos hídricos en actividades hidroeconómicas.

Como se podrá observar de los anteriores capítulos, respecto al potencial de los recursos hídricos superficiales en Rusia, éste ocupa el segundo lugar en el mundo después de Brasil. El volumen de escurrimiento medio multianual total en todos los ríos, es cercano a los 4700 Km<sup>3</sup>/ anuales y respecto al suministro de agua por habitante es de 47.5 m<sup>3</sup>, que representa ocho veces más que la media mundial.

No obstante, esta situación no refleja, las condiciones reales ya que el 80% de los escurrimientos se encuentran al oeste y norte, donde la economía de estas regiones está en proceso de desarrollo. En las regiones con mejores condiciones para el ser humano, así como para sus actividades económicas se encuentran en la región sur de la Rusia europea, el Cáucaso, Kazajstán y Rusia central, los recursos hídricos superficiales son menores al 20%, es decir de 800 a 850 Km<sup>3</sup>/anuales, tan sólo un poco arriba de la demanda de estas regiones.

Las regiones con muy baja disponibilidad de agua, es ocupada por más del 25% del territorio, aquí se ubica únicamente el 2% de los recursos hídricos, nos referimos a amplias regiones del sur de Ucrania, el norte de Crimea, Stávropol, cuenca alta y baja del río Volga, sur de Siberia, Kazajstán, Turkmenistán y Uzbekistán. El déficit de agua en estas regiones es muy alto, lo único favorable para estas regiones, es que cuentan con buen clima y buenos suelos propicios para la agricultura. Por el contrario, el 80% de los recursos hídricos se encuentran en regiones con condiciones muy adversas para las actividades agrícolas.

Como se pudo observar esta desigual distribución de los recursos hídricos en Rusia, se agudiza por otro factor más, su distribución temporal. En la región sur de Rusia a pesar de contar con buen clima y buenos suelos para la agricultura, precisamente no cuenta con lo más importante, que es el agua, ya que está sujeta también a la variabilidad y la distribución interno anual de los recursos hídricos, así como los cambios de un año a otro, esta situación afecta considerablemente cualquier actividad agrícola, ya que se presentan ciclos de estiajes severos y prolongados.

El crecimiento en cuanto a la demanda de agua, es constante principalmente en el sector agrícola, influyendo en la recarga de los acuíferos y cuerpos de agua superficiales, la construcción de nuevas presas de almacenamiento, mejoramiento de las zonas de riego y muchas otras actividades hidroeconómicas, que ejercen fuerte presión sobre la disponibilidad de los recursos hídricos en estas regiones, por tanto, va disminuyendo en los ríos su potencial.

Una situación totalmente contraria, es la que se presenta en las cuencas hidrológicas de los ríos del norte y oeste, donde se tienen abundantes excedentes de agua, acompañados de bajas temperaturas, lo que no permite el desarrollo agrícola en estas regiones.

Una de las principales características de los ríos de Rusia y de otros países de Asia central, es el hecho de que sus aguas se puedan regular a través de grandes presas, esta solución no siempre es la mejor, ya que se ven afectados los cuerpos de agua superficiales que reciben estos escurrimientos como son los casos del Mar Caspio, el mar de Azor y el mar de Aral, así como el lago de Baljash.

Para conocer el comportamiento hidrológico de estos cuerpos de agua los Institutos de investigación de la Academia de Ciencias de Rusia, han realizado y realizan gran cantidad de



estudios, como es de todos conocido el uso excesivo del agua en la agricultura, en las cuencas hidrológicas de los ríos Amudaría y Sirdaría, lo que provocó la muerte del mar de Aral, ya que el poco volumen que recibe contiene enormes cantidades de sales, provenientes de las zonas agrícolas producto de las aguas de retorno. Debido al poco volumen de agua que recibe y la evaporación tan intensiva que se produce, genera también enormes volúmenes de sales, esta situación hizo imposible la permanencia de vida acuática en el mar de Aral.

Como se mencionó muchos científicos, se han dado a la tarea de estudiar bajo qué condiciones hidrológicas e hidráulicas, se puede revertir el anterior suceso, llegando a la conclusión de que es necesario transferir importantes volúmenes de agua en forma urgente de los ríos del norte de Siberia, hacia Asia central, con lo cual podrá paulatinamente restablecerse el desarrollo y proceso hidrológico de estos cuerpos de agua.

En forma paralela son intensificadas campañas permanentes, para hacer un uso eficiente del agua, con objeto de disminuir las pérdidas por evaporación, optimizando la regulación estacional y multianual en las presas de almacenamiento, con lo cual se podrá contar con agua en los próximos 10 a 20 años. Claro está, estas medidas no son suficientes, por lo que es necesario a corto plazo y mediano plazo transferir escurrimientos entre las cuencas hidrológicas, mejorar su redistribución en beneficio de la región sur de Rusia.

Las primeras transferencias de escurrimientos en Rusia, se realizaron en el año de 1937, con la construcción del canal de Moscú, el cual tiene una longitud de 128 kilómetros y transfiere un volumen de 2 Km<sup>3</sup>/anuales provenientes del río Volga, dirigidos hacia el río Moscú, para suministrar agua a la ciudad de Moscú, así como una arteria de transporte fluvial, formando parte del sistema fluvial de la parte de Rusia europea.

En Asia central en 1989, se construyó el gran canal del valle de Fergans, así mismo en los años cincuenta se inició y se concluyó la construcción del gran canal denominado "Karakum", por donde se transfiere agua del río Amudaría hacia la cuenca de los ríos Tedzhek y Murgab, continuando hasta las regiones, sin agua del desierto de "Karakum"; el volumen de agua que se está transfiriendo es de 11 Km<sup>3</sup>/anuales. La longitud de este canal es de 1100 Km. Actualmente este canal, se está prolongando hasta llegar al Mar Caspio. El volumen total que se está transfiriendo en todos los sistemas, alcanza los 60 Km<sup>3</sup>/anuales, **en el Tabla No. 4.12 y en la Fig. No. 4.7**, se muestran los sistemas de transferencias de escurrimientos más significativos.

Todos los sistemas de transferencias de escurrimientos en Rusia, corresponden a la categoría de transferencia local entre una misma cuenca hidrológica y entre cuencas hidrológicas, redistribuyen los escurrimientos a distancias muy considerables, dentro de una misma región geográfica. A excepción del canal de Moscú, todos los demás se encuentran en regiones áridas del sur y centro, los cuales están destinados a satisfacer las demandas de agua de las zonas agrícolas, centros de población y zonas industriales.

Los últimos proyectos de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones, se encuentran en el río Irtysh y Obi, para transferir parte del volumen de sus aguas hacia el mar de Aral, por otro lado, tenemos también a los ríos Pichora, Dvina del Norte o (Dvina Septentrional), Onega y Niba, de estos se transferirá parte de sus volúmenes de escurrimiento, hacia la cuenca del Mar Caspio, en el **Tabla 4.12 y la Fig. No. 4.8** se muestran estos sistemas de transferencia de escurrimientos.

Las transferencias de escurrimientos del río Danubio, al río Dniéper, estos volúmenes de agua permitirán el desarrollo agrícola de la zona semidesértica de Ucrania, para regar cerca de 5 millones hectáreas de tierras agrícolas. La transferencia de una parte de los escurrimientos del río Obi, es de 25 Km<sup>3</sup>/anuales, cabe mencionar que el escurrimiento medio multianual del río Obi, es de 397 Km<sup>3</sup>/anuales, este proyecto se pretende construir en el siglo 21, cabe mencionar, que con el volumen de agua a transferir, se podrá cubrir el déficit en las cuencas hidrológicas del mar de Aral, como mencionamos debido al intensivo uso del agua de los ríos Amudaría y Sirdaría en la agricultura.

Al mismo tiempo se beneficiarán en el trayecto gran cantidad de usuarios del oeste de Siberia, Kazajstán y muchas zonas industriales de Ucrania. El mayor reto de este proyecto lo representa la construcción de un enorme canal denominado Siberia-Asia central, con una longitud de 2300 Km., que pasara por una gran variedad de suelos, como las estepas, zonas semiáridas y otros. En esta

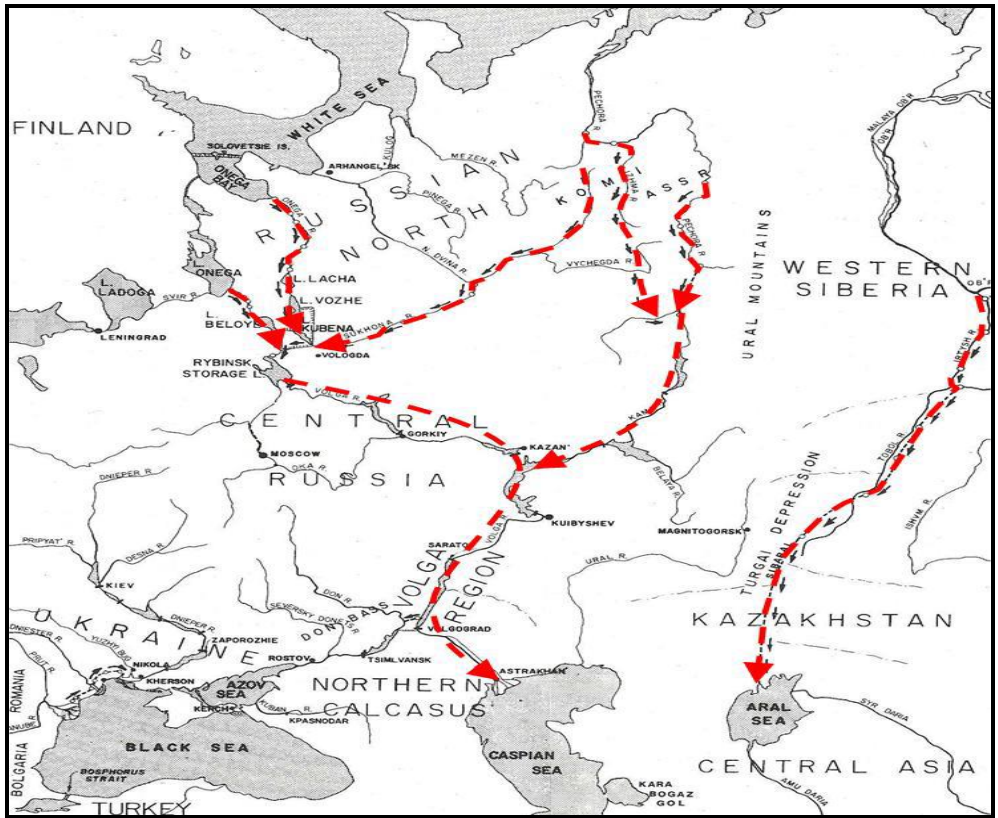
alternativa de transferencia de escurrimientos, también se contempla incrementar el volumen de aguas hasta 60 Km<sup>3</sup>/anuales.

**Tabla No. 4.12 Las transferencias de escurrimientos más grandes de Rusia en operación**

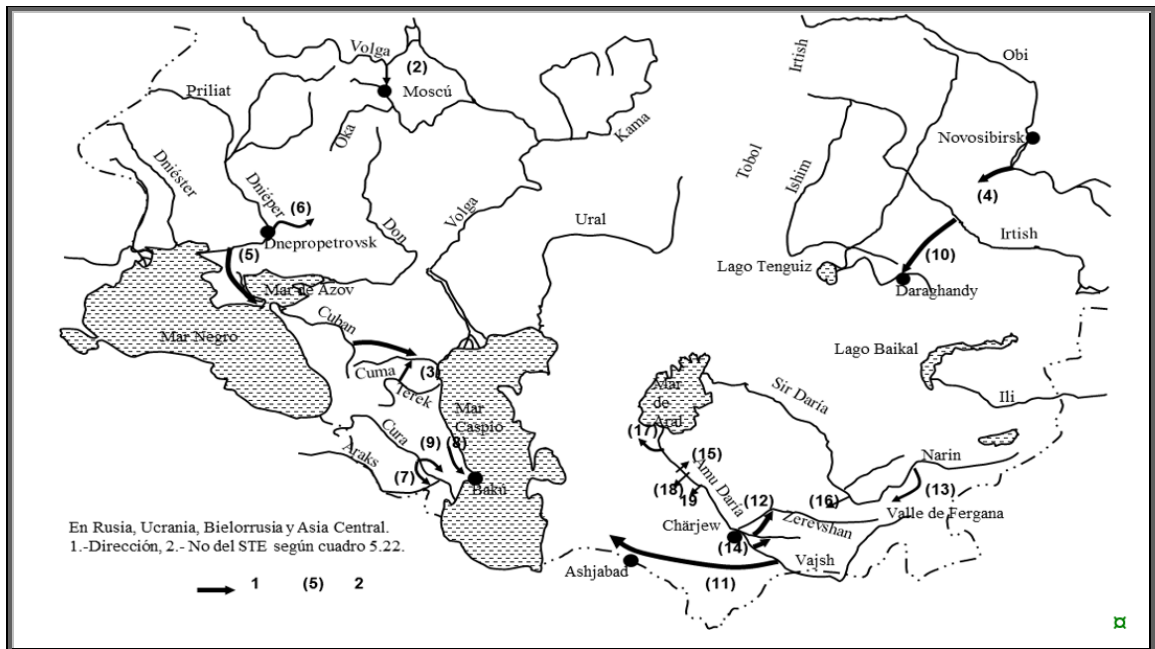
Nombre del Canal	No. Conforme a la Fig. 4.7	Fuente de abastecimiento ó Río	Receptor de agua	Volumen de agua que se transfiere Km <sup>3</sup>	Longitud de la conducción Km.	Uso Principal	Año de terminación de la transferencia
Gran Estavropol	1	Kuban	Cuenca del río Kalaus y Kумы	2.3	480	Riego	1967
Canal de Moscú	2	Volga	Río Moscú, Cd. De Moscú	2.1	128	Agua potable, fluvial	1937
Tersko-Kumskiy	3	Terek	Río Kuma	1.5	150	Riego	1960
Kulundinskiy	4	Obi	Estepa de Kulun	0.8	183	Riego	1984
Norte de Krimea	5	Dniepr	Estepa de Crimea, Cd. De Kerch	3.8	400	Riego, agua potable	1971
Dniepr-Donbas	6	Dniepr	Río Norte de Doniest, Donbass	3.6	270	Agua potable	1978
Vierjekarabaskiy	7	Kura	Río Araks	1.6	170	Riego	
Samur-Apshevovskiy	8	Samur	Río Baku	1.4	182	Agua potable	1976
Vierjeshervaskiy	9	Kura	Cuenca del río Kury	1.1	124	Riego	1958
Irtish-Karaganda	10	Irtish	Cuenca del río Nury, Cd. De Karaganda	0.9	460	Riego, agua potable	1974
Karakumskiy	11	Amudaría	Cuencas cerradas de Turkmenia	11	1100	Riego, agua potable	1962
Amubujarskiy	12	Amudaría	Río Zeravshan	5.8	230	Riego	1965
Gran Fergan	13	Naryn	Río Karadaria, cuenca del río Sirdaria	5.3	350	Riego	1939
Karshinskiy	14	Amudaría	Río Zeravshan	3.6	177	Riego	1974
Kyzkitken	15	Amudaría	Cuenca del río Amudaría	3.6	25	Riego	1961
Sureste de la Estepa estéril	16	Sirdaria	Cuenca del río Sirdaria	3.4	127	Riego	
Canal Lenin	17	Amudaría	Cuenca del río Amudaría	2.5	128	Riego	
Consejo	18	Amudaría	Cuenca del río Amudaría	2.0	100	Riego	
Klychniazbay	19	Amudaría	Cuenca del río Amudaría	1.4	126	Riego	

Fuente: Klige. Shiklomanov I.A.

Los países que se encuentran a lo largo del río Danubio, aprovechan sus recursos hídricos, cuyo potencial hidráulico, es un poco menor que el del río Volga, en forma intensiva, se usan y aprovechan las aguas de esta corriente, nueve países europeos, los cuáles son: Alemania, Austria, República Checa, Eslovaquia, Hungría, Yugoslavia, Rumania, Bulgaria y Rusia. El volumen de agua que se utiliza, sin retornar al río, es de 14 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, se prevé un importante incremento en cuanto al uso del agua, hasta 95 Km<sup>3</sup>/anuales, es decir prácticamente la mitad de sus escurrimientos.



Fuente: Tolmazin (1987: figura 1).



Fuente: Shiklomanov I.A.

Fig. No. 4.7 Esquema de las transferencias de escurrimientos en operación

Considerando esta importante carga antropogénica sobre los recursos hídricos del río Danubio, se adoptaron enérgicas medidas tendientes a mejorar y efectuar un uso eficiente del agua, la conservación de su calidad en todo su trayecto. Muchos de los países que colindan con este importante río, contemplan efectuar transferencias de escurrimientos, en otras cuencas hidrológicas. Tal como se muestra en el Tabla No.4.13, ver Fig. No 4.9.

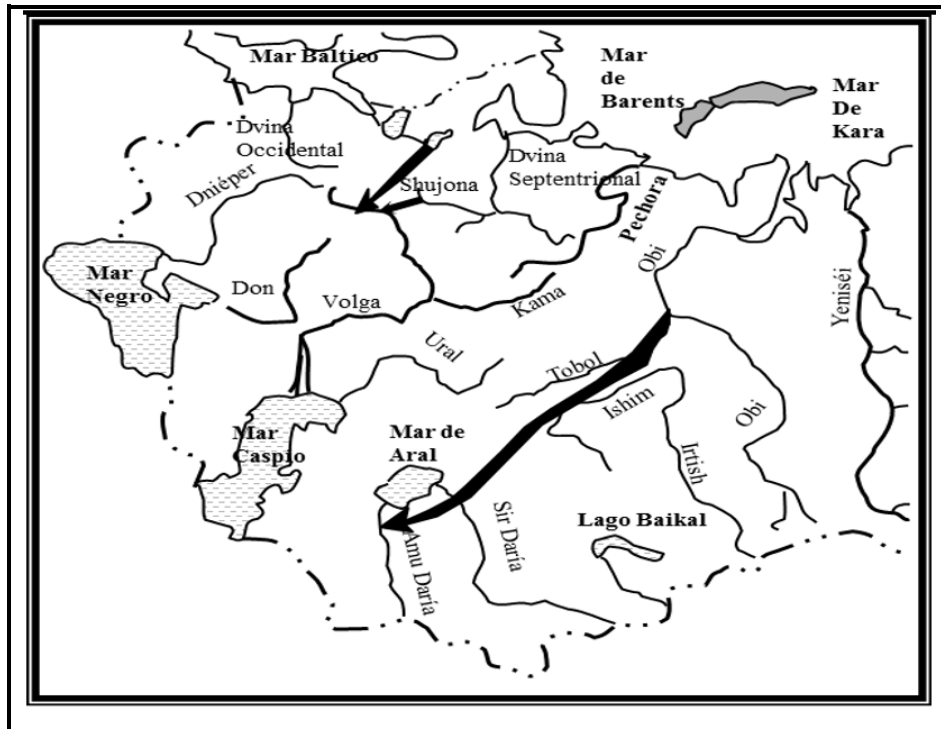
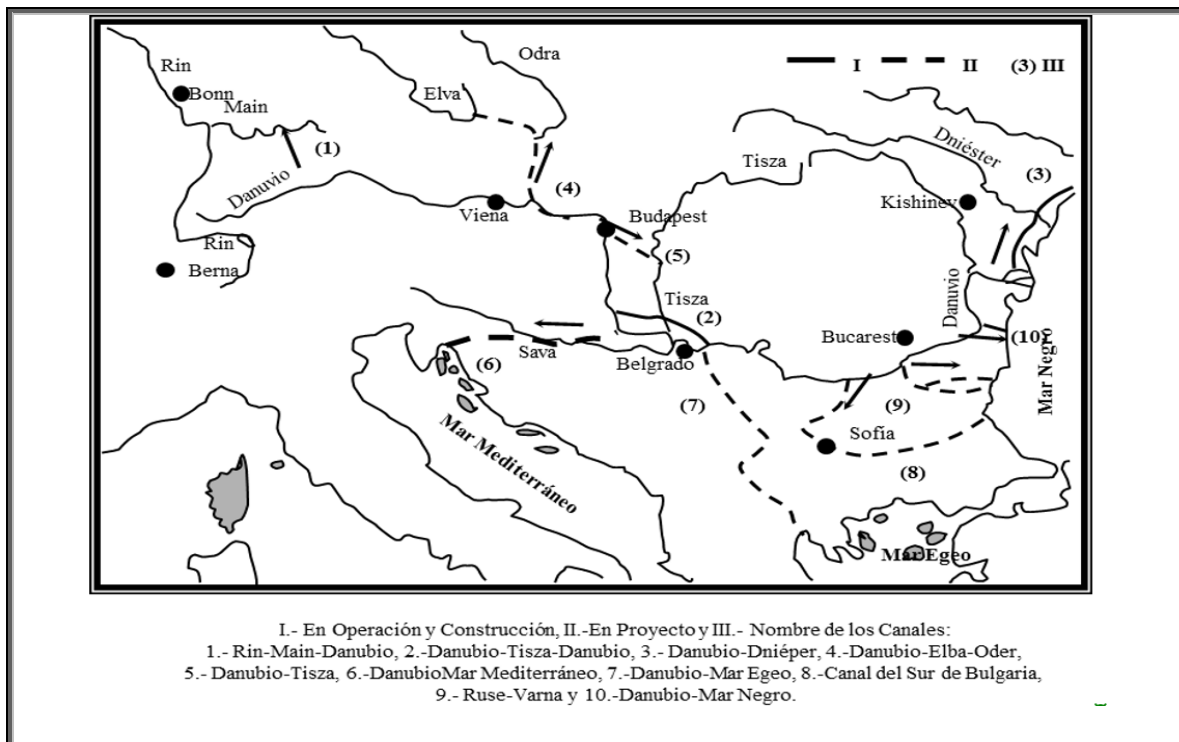




Fig. No.4.8 Transferencias de escurrimientos de grandes dimensiones en Rusia.



Fuente: Shiklomanov I.A.

Fig. No. 4.9 Esquema de transferencias en el río Danubio.

**Tabla No.4.13 Transferencias del Río Danubio.**

País / Proyecto	Fuente de captación	Cuenca receptora	Volumen [Km <sup>3</sup> ]	Longitud del trazo[Km.]	Principales usos
Yugoslavia	Danubio	Tisa	1. 5	750	Riego
Rin-Moin-Danubio	Danubio	Canal fluvial	1. 5	3500	Transporte fluvial
Rumania	Danubio	Mar Negro	4	60	Canal fluvial
Canal Danubio-Lobo-Oder		Mar Báltico	4		Agrícola, agua potable y transporte fluvial
Rumania	Danubio-Tisa			125	Sistema de transporte fluvial
Canales Danubio, Mar Adriático, Danubio, Mar Egeo			2. 5	1000	
Bulgaria	Danubio-Mar ; Egeo-Mar Negro		1. 7		Canal fluvial
Canal Puse- Bárna			1. 8	175	Riego agua potable transporte fluvial

Fuente: Shiklomanov I.A.

### Francia

Las transferencias más importantes de Francia afectan a la cuenca del río Ródano: Por medio de un canal denominado Provence, la transferencia del Bajo Ródano al Languedoc y la transferencia de Loira-Ródano. Estas transferencias, se concibieron inicialmente con fines energéticos y agrícolas y han modificado su utilización hacia el abastecimiento urbano y las actividades turísticas.

#### Canal de Provence

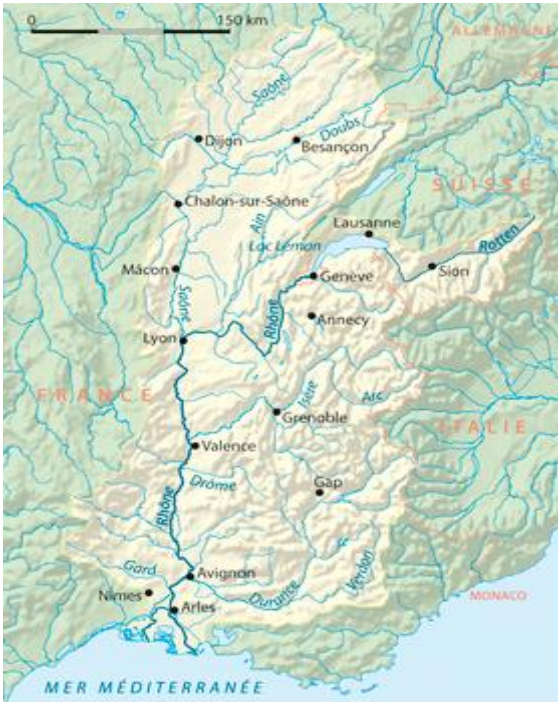
A través de él se deriva agua del río Verdón (unos 660 millones de m<sup>3</sup>), para abastecer una extensa zona situada entre el río, Marsella y el golfo de Saint Tropez.

En la cabecera, se dispone de una capacidad de 40 m<sup>3</sup>/s. En conjunto, las conducciones de transporte de agua representan unos 100 km de canal a cielo abierto y unos 130 km de galerías.

Un acuerdo con E.D.F. permite a la Société du Canal de Provence, derivar 760 hm<sup>3</sup>/año del río Verdón, cuya aportación media anual es de 11,000 hm<sup>3</sup>/año, por lo que la transferencia potencial supone el 70% de la aportación media anual.



## Transferencia Bajo Ródano-Languedoc



El Ródano nace en los Alpes, su cuenca es de aproximadamente 97,000 km<sup>2</sup>, tiene una longitud de 812 kilómetros de largo y un caudal específico de más de 18 l/s x km<sup>2</sup>. Desemboca en la región de la Camarga, con un caudal de 1,700 m<sup>3</sup>/s, (más de 50 Km<sup>3</sup>/año). Suministra agua a unas 335,000 has de regadío y, además del abastecimiento a poblaciones, se emplea para la producción de energía y la navegación.

En 1955 se creó, la iniciativa del estado francés, la Sociedad del Bajo Ródano-Languedoc (BRL), destinada a la gestión de los recursos hídricos de la zona, contando con una concesión por 80 años para extraer del Ródano 75 m<sup>3</sup>/seg. (2.36 Km<sup>3</sup> por año).

La transferencia está constituida por un canal de derivación situado en la margen derecha del Ródano, atravesando las zonas montañosas hasta llegar a la zona receptora.

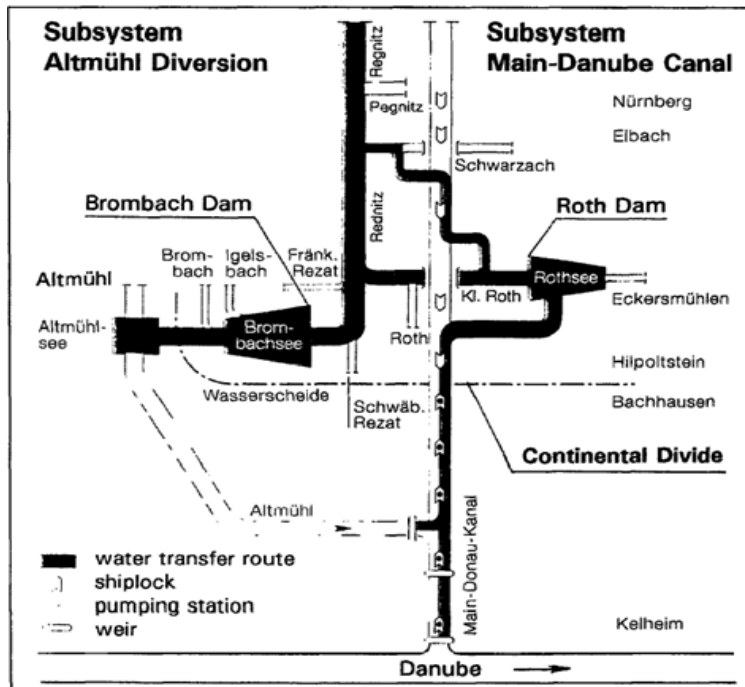
## Alemania

En general, el agua no es un factor limitante para el desarrollo socioeconómico de Alemania. El país cuenta con una cantidad de 164,000 millones de m<sup>3</sup> de fuentes de agua renovables, de las cuales se utiliza menos de un 28%. A pesar de esto, las transferencias de escurrimientos de agua se han convertido en necesarios para el abastecimiento de agua de ciertas regiones.

## Transferencia del Danubio-Rhin

En Bavaria, al sur de Alemania, los recursos hídricos se encuentran irregularmente distribuidos. El agua captada del Danubio procede de las altas precipitaciones registradas y el deshielo de las montañas de la región. En el Rin, los aportes de las precipitaciones son mucho menores y el almacenamiento de agua subsuperficial se encuentra limitado por la litología del territorio. Además, la alta densidad de población en sus orillas hace que haya una mayor demanda de recursos para usos industriales y de consumo.

Para compensar este desequilibrio se ha desarrollado un sistema para transferir los escurrimientos de agua entre estas dos cuencas. Esta transferencia va de sur a norte, consta de dos sistemas independientes.



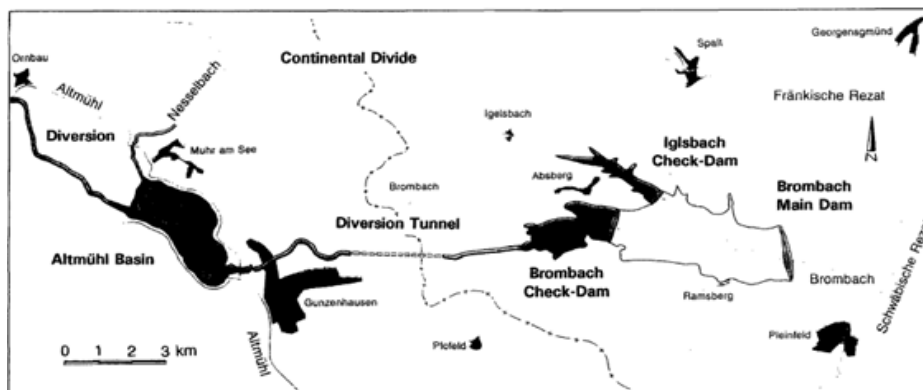
Fuente: ["Interbasin Water Transfer"](#)

**Fig. No 4.10** Transferencia del Danubio-Rhin

### Subsistema Canal Main-Danubio

Aprovecha el canal de navegación Main-Danubio que conecta ambas cuencas. Comienza en Kelheim y asciende 68 metros en 5 escalones de diferente altitud hasta alcanzar la sección de la cumbre de la División Continental. Después, el canal desciende 175 metros en 5 escalones hasta Bamberg, donde se une con el río Main. El agua bombeada asciende a 125 millones de m<sup>3</sup> al año. Desde este punto el agua transferida se dirige al embalse de Roth, que cumple el propósito de compensación y retención para sincronizar el abastecimiento y la demanda.

Por razones económicas las operaciones de bombeo se realizan preferiblemente durante la noche. Desde el embalse Roth el agua se descarga en la cuenca del río Main. La diferencia de altura entre el canal navegable y el embalse es aprovechada además para la obtención de energía hidroeléctrica.





Fuente: ["Interbasin Water Transfer"](#)

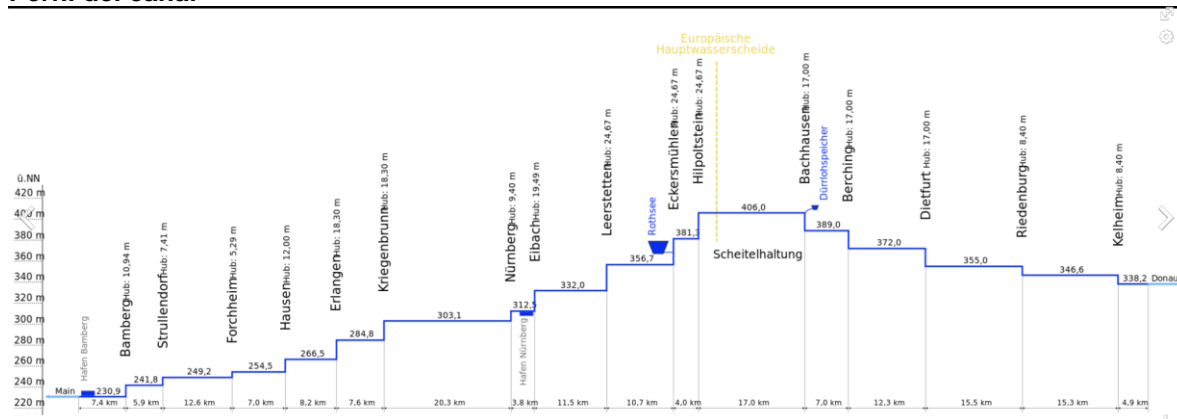
Fig., No 4.11 Sistema canal Main-Danubio



El canal Main-Danubio comprende los siguientes componentes:

- cinco estaciones de bombeo, cada una con una capacidad de 35 m<sup>3</sup>/s.
- canal de desvío desde el Canal hasta el embalse Roth, incluyendo una hidroeléctrica con una capacidad de 3000 KW.
- embalse Roth, con una capacidad de almacenamiento de 8 millones de m<sup>3</sup>.
- desagüe desde el embalse de Roth, con una central hidroeléctrica de 650 KW de capacidad y un canal de transporte hacia el río Main.

### Perfil del canal



### Subsistema Canal Main-Danubio

Consiste en un canal a cielo abierto que utiliza los excedentes de agua del río Altmühl, afluente del Danubio, durante la época de inundaciones. El agua trasvasada se almacena de manera temporal

en una cuenca de retención de inundaciones, para después trasvasarla a través de la Divisoria Continental mediante un túnel de 2.7 km de longitud. Al final del túnel, el agua es almacenada en la presa principal del sistema, Brombachsee. Desde esta presa el agua es liberada y descargada en la cuenca del río Main. La cantidad de agua que puede ser trasvasada es 25 millones de m<sup>3</sup> anualmente.

Se compone de los siguientes elementos:

- presa de desvío en el río Altmühl
- adaptación del río Altmühl aguas abajo del desvío.
- cuenca de almacenamiento de inundaciones con una capacidad de 5.4 millones de m<sup>3</sup>, que comprende una presa de 12.5 km con una altura de 4 metros.
- control mediante puertas de la estructura de salida de la cuenca del río Altmühl.
- canal de desvío hacia el embalse Brombach, de 9 metros de largo, que incluye un canal de flujo libre superficial de 6 metros de diámetro y 2.7 km de largo.
- embalse de Brombach, con una capacidad de almacenamiento de 58 millones de m<sup>3</sup>.
- estructura de salida del embalse de Brombach, con un canal de desvío hacia el sistema natural de la cuenca del río Main.

El proyecto es responsabilidad total del Gobierno del Estado Federal de Bavaria. Es el dueño, autoridad que planifica, supervisor de las obras y operador de todo el sistema.

#### **Fuente de información**

Andreas H. Shumann, Helmut Sheuerlein, "[Interbasin Water Transfer](#)", International Hydrological Programme. Proceedings of the International Workshop (UNESCO, Paris, 25-27 April 1999).

#### **Transferencia desde las Montañas Hanz**

Debido a los efectos orográficos, las montañas Hanz reciben anualmente unas precipitaciones comprendidas entre los 1200 y los 1400 mm. Por esta razón, las montañas suponen una fuente muy importante de agua para una región relativamente seca. Son utilizadas como donante en dos sistemas de transferencia de agua, que abastece regiones al noroeste y al este de las mismas.

El sistema de abastecimiento del oeste se construyó en diferentes etapas entre 1928 y 1969. Hoy en día el sistema consta de 6 embalses con una capacidad total de almacenamiento de 183 millones de m<sup>3</sup> y una longitud total de 416 km. La primera tubería, que tiene una longitud de 200 km, se realizó con el objetivo de abastecer la ciudad de Bremen. La transferencia fue necesaria debido a la contaminación del río Weser, causada por la industria, y debido a que la utilización de las aguas subterráneas de los alrededores de Bremen se ve limitada por las intrusiones marinas procedentes del mar del Norte.

Uno de los principales usuarios del sistema a lo largo de la historia ha sido el complejo industrial de Volkswagen, situado en la ciudad de Wolfsburg. Desde 1943 la fábrica se ha abastecido mediante una larga tubería de 80 km de agua procedente del embalse de Ecker. Actualmente las ciudades de Hannover y Göttingen dependen también de este trasvase.

Después de la II Guerra Mundial se incluyeron en el sistema trabajos en las aguas subterráneas. Se construyeron nuevas reservas conectadas mediante tuberías de varios km de longitud.

Además del abastecimiento el sistema cumple otros objetivos:

- protección frente a inundaciones
- incremento del turismo por el uso recreativo de algunos embalses.

Al finalizar la II Guerra Mundial, al este de Alemania se produce un incremento de la demanda de agua en las regiones industriales de Halle, Leipzig y Bitterfeld. Como las fuentes locales de agua estaban muy contaminadas debido a la actividad industrial se consideró necesario una transferencia de aguas desde el río Elbe hasta la región. Desde 1938, además, se planifica un sistema de embalses al este de las montañas Herz con tres objetivos principales: abastecimiento de agua potable, protección frente a inundaciones y control del flujo bajo. El sistema se terminó en 1959 y está conectado con el sistema de transferencia de agua desde el río Elbe a través de una tubería de 124 km de longitud.

#### **Fuente de información**

Andreas H. Shumann, Helmut Sheuerlein, "[Interbasin Water Transfer](#)", International Hydrological Programme. Proceedings of the International Workshop (UNESCO, Paris, 25-27 April 1999).

#### **Sistema del Lago Constance**

El sistema tiene capacidad para trasvasar 130 millones de m<sup>3</sup>/año. Además de las ciudades de Stuttgart, Tübingen y Heilbronn abastece a pequeñas comunidades rurales de la zona de las montañas de la Selva Negra.

El sistema tiene un impacto pequeño en el área donante. La obtención del agua causa tan sólo una disminución del 1.2 % de las descargas del lago Constance hacia el Rin. Este trasvase es un ejemplo de proyecto económicamente rentable y que además aporta ventajas ambientales. La utilización del agua del lago Constance para abastecimiento ha incentivado los controles limnológicos y de la contaminación de las aguas.

#### **Fuente de información**

- Andreas H. Shumann, Helmut Sheuerlein, "[Interbasin Water Transfer](#)", International Hydrological Programme. Proceedings of the International Workshop (UNESCO, Paris, 25-27 April 1999).

#### **Fuentes de información**

[Andreas H. Shumann, Helmut Sheuerlein, "Interbasin Water Transfer", International Hydrological Programme. Proceedings of the International Workshop \(UNESCO, Paris, 25-27 April 1999\).](#)

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000161070>

## *España*

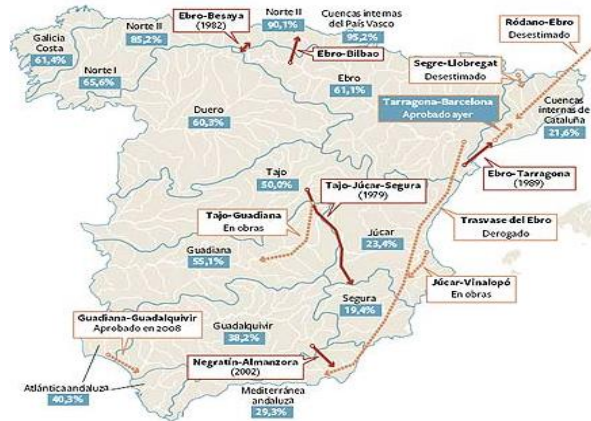
#### **Introducción**

Los factores climáticos y el relieve condicionan la hidrografía española caracterizada en general por ríos con fuertes estiajes y escaso caudal.

Las escasas precipitaciones, típicas del clima mediterráneo predominante en España, han desarrollado ampliamente políticas de aprovechamiento de los recursos hídricos, tanto

superficiales como subterráneos. De manera general, la cuenca mediterránea española es deficitaria en recursos hídricos respecto a la zona con clima atlántico. Esta descompensación, ha sido resuelta mediante la construcción de infraestructuras hidráulicas, como presas, embalses y trasvases.

Las principales transferencias que se han llevado a cabo en España quedan resumidas de forma gráfica en el siguiente cuadro.



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino  
Fig. No 4.12 Principales transferencias en España.(El País)

### Cuenca Hidrográfica del Duero

En la cuenca del Duero durante la década de los 90 se concluyeron diversas conducciones que enlazan sus principales afluentes por la margen derecha.

- **Canal Alto de Payuelos:** tiene una longitud de 76 km. Sus aguas son destinadas principalmente a riego. Trasvasa agua desde el río Esla hasta el Cea.
- **Canal Cea-Campos:** tiene una longitud de 49 km y permite transferir 20 m<sup>3</sup>/s destinados a riego y abastecimiento. El agua puede circular tanto en sentido normal como en contra pendiente, alcanzando la cuenca del Pisuegra. Permite la aportación de recursos al río Valderaduey.
- **Aprovechamiento hidroeléctrico de Villarino:** situado entre los ríos Tormes y Duero. Permite turbinar caudales desde la presa de Almendra que se vierten al Duero e introducir aportaciones del Duero al embalse de la Almendra.

**Fuente de información:** Plan Hidrológico Nacional "Análisis de antecedentes y transferencias planteadas"

En el mapa y la figura se puede apreciar como el llamado "canal de Paso" transportaría las aguas trasvasadas del Tago desde el embalse de Bolarque hasta el de Alarcón, ya en la cuenca del Júcar. Este canal también recogería los 40 hm<sup>3</sup> procedentes de los ríos Cigüela (o Gigüela) y Zancara en la cuenca del Guadiana. Un segundo canal, el del Alto Tajo, canalizaría los recursos hídricos del río Gallo, en la cuenca del Tago, hasta la cuenca del Júcar, de forma que estos recursos también se acumularían en el embalse de Alarcón. Parte de los recursos recogidos en este embalse se destinaban a la propia cuenca del Júcar, pero la mayoría se dirigirían, por medio de otro canal, hasta el embalse de Talave, ya en la cuenca del Segura, desde donde se acabarían

redistribuyendo mediante los canales de Alicante, Cartagena y Lorca (Lorenzo Pardo, 1933: 199-200).

Por otra parte, en la figura 4.12 también se puede apreciar la existencia de un pantano y un canal en Cherta, cerca de la desembocadura del Ebro.

Este canal constituía una transferencia de intercuenas desde este río hasta una serie de pequeñas cuencas independientes incluidas en la demarcación del Júcar.

Podía regar unas 8.000 hectáreas en las provincias de Tarragona y Castellón (Lorenzo Pardo, 1933: 185-187) aunque dado que no se precisan ni volúmenes ni superficies que pueden considerarse como trasvases, amén de no estar incluido en el “Plan de Mejora”, no lo hemos tenido en consideración.

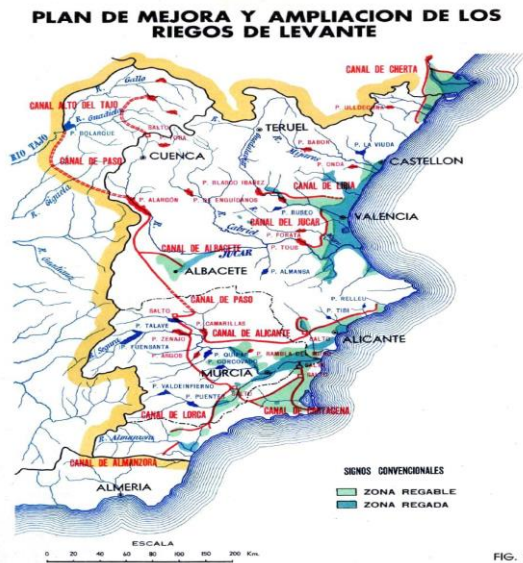


FIG. 19

Fig. No. 4.13 Plan de Mejora y Ampliación de los Riegos de Levante” del Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933.

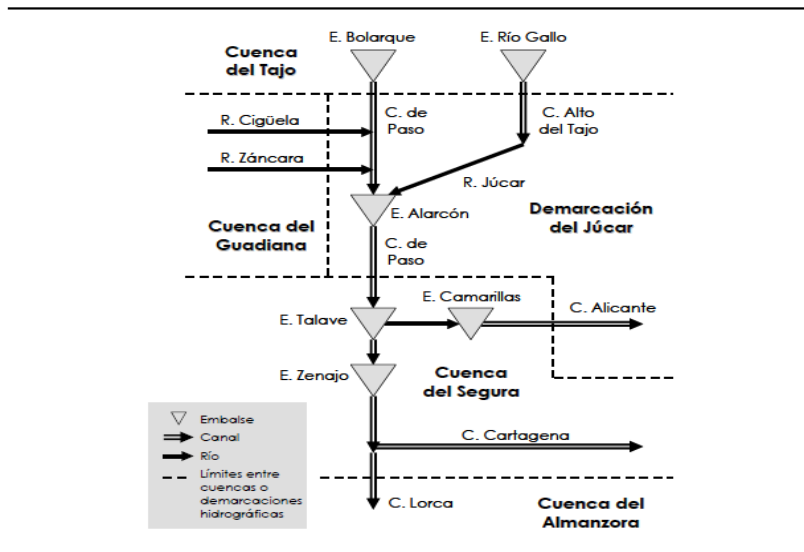


Fig. No 4.14 Esquema de las transferencias de intercuenas del “Plan de Mejora y Ampliación de los Riegos de Levante” del Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933

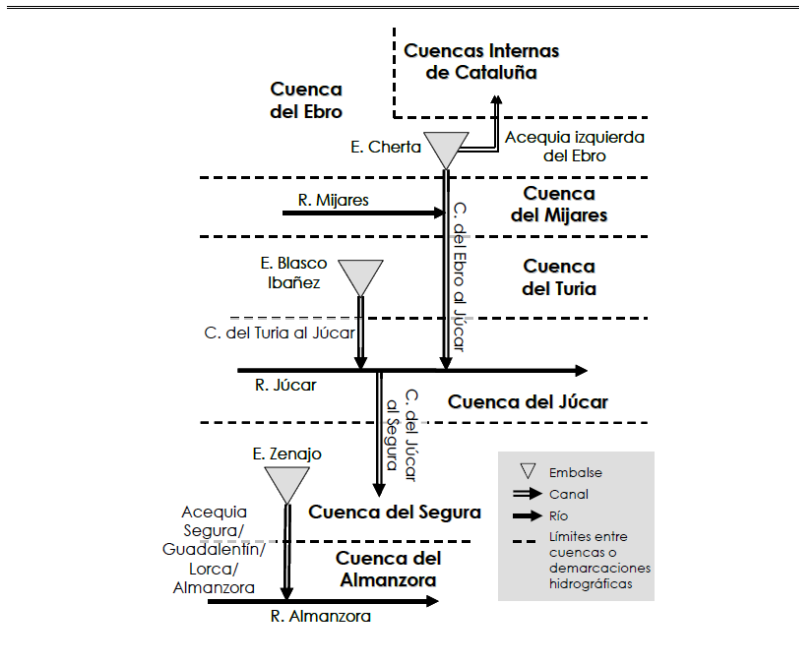


Fig. No 4.15: Esquema de las transferencias de intercuenas en la “Propuesta de Mejora y Ampliación de los Riegos de Levante” de Félix de los Ríos

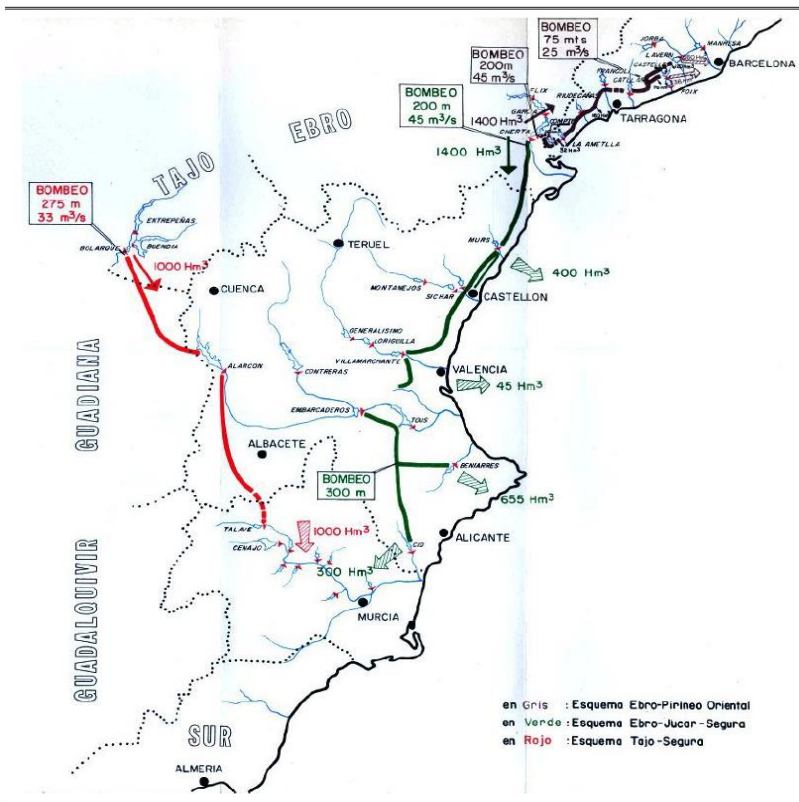


Fig. No 4.16: Esquemas de transferencias en el Anteproyecto General de Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España

En la tabla V.2 se muestra la matriz de volúmenes transferidos entre cuencas con déficit hídrico (en filas), que recibirían agua de las cuencas con superávit, es decir, las cedentes (en columnas). Debido al intercambio de caudales a transferir entre Ebro y Júcar, esta última demarcación aparece entre las cuencas cedentes, si bien, en términos netos no lo es.

En términos brutos la propuesta movilizaría 4,100 hm<sup>3</sup>, aunque en términos netos se quedan en 3,800 hm<sup>3</sup> debido al ya mencionado intercambio de caudales del Ebro por agua del Júcar para trasvasar a la cuenca del Segura. Como se puede ver en la tabla, la realización conjunta de los tres aprovechamientos implicaría la derivación de 2,800 hm<sup>3</sup> del Ebro y 1,000 más del Tajo, incrementando de forma significativa los volúmenes a trasvasar respecto a las propuestas precedentes. Por ejemplo, el Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933 de Manuel Lorenzo Paro pretendía trasvasar unos 1,300 hm<sup>3</sup> al Segura, principalmente del Tajo y el Júcar, mientras que el plan de Félix de los Ríos de 1937 implicaba un trasvase del Ebro de unos 1,500 hm<sup>3</sup>, la inmensa mayoría a partes iguales hacia el Júcar y el Segura.

Tabla No 4.14: Matriz de transferencias en el Anteproyecto General de Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España.

Cuencas receptoras	Déficit hídrico (hm <sup>3</sup> ) Año 2000		Cuencas cedentes Vol. a trasvasar (hm <sup>3</sup> )				Eliminación del déficit hídrico
	BHN	Redondeado	Ebro	Jucar	Tajo	Total	
<b>Pirineo Oriental</b>	<b>1.352</b>	<b>1.400</b>	<b>1.400</b>			<b>1.400</b>	<b>100,0%</b>
<b>Júcar</b>	<b>1.097</b>	<b>1.100</b>	<b>1.400</b>			<b>1.400</b>	<b>127,3%</b>
Castellón	398	400	400			<b>400</b>	100,0%
Valencia (Júcar)	44	45	345			<b>345</b>	766,7%
Alicante	655	655	655			<b>655</b>	100,0%
Suministrado a Alicante desde el Segura*	69*						
<b>Sureste</b>	<b>2.629</b>	<b>2.700</b>		<b>300</b>	<b>1.000</b>	<b>1.300</b>	<b>48,1%</b>
Segura	2.304	2.304		231	1.000	<b>1.231</b>	53,4%
Suministrado a Alicante desde el Segura*		69*		69*		<b>69*</b>	100,0%
Almería	325	325					0,0%
<b>Total</b>	<b>5.078</b>	<b>5.200</b>	<b>2.800</b>	<b>300</b>	<b>1.000</b>	<b>4.100</b>	<b>78,8%</b>

\* Uso de agua para abastecimiento urbano situado en la provincia de Alicante, en la demarcación hidrográfica del Júcar, pero abastecida por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla con agua de la cuenca del Segura. Por tanto, aunque en el balance hídrico estaba contabilizado en la demarcación del Júcar, los recursos son del Segura, por lo que debería figurar en esta cuenca. Para que cuadren los números, lo hemos incluido en las dos demarcaciones. Además, dado que la demarcación del Júcar trasvasaba agua propia al Segura, hemos asumido la hipótesis, por razones de proximidad, de que este déficit se atiende totalmente a cargo de este trasvase.



Fig. No 4.17: Mapa de las transferencias intercuenas del Anteproyecto del PHN de 1993

Tabla No. 4.15: Volúmenes transferidos por cuencas hidrográficas en el Anteproyecto

Demarcaciones hidrográficas	Balance de Transferencias (hm <sup>3</sup> /año)						
	1992		2002		2012		
	Saldo	Imp.	Exp.	Saldo	Imp.	Exp.	Saldo
Norte-Duero	160	173	400	-227	173	1.250	-1.077
Tajo	-320	200	550	-350	150	200	-50
Guadiana I	20	120		120	170		170
Guadiana II			100	-100		100	-100
Guadalquivir		100	50	50	200	50	150
Guadalete-Barbate				0	110		110
Sur	5	75		75	155	110	45
Segura	210	900	30	870	1.045	30	1.015
Júcar	85	1.060	375	685	890		890
Ebro	-200	200	1.432	-1.232	400	2.012	-1.612
Galicia-Costa			16	-16		16	-16
C.I. Cataluña	40	125		125	475		475
Totales	0	2.953	2.953	0	3.768	3.768	0

Fuente: MOPT (1993b: 110).

### La transferencia del Ebro

La transferencia del Ebro consiste en una doble transferencia de 1,050 hm<sup>3</sup> brutos en total, 190 hm<sup>3</sup> desde el curso bajo del Ebro hacia el norte a las Cuencas Internas de Cataluña y el resto, 860 hm<sup>3</sup>, hacia el sur a las cuencas del Júcar (315 hm<sup>3</sup>), Segura (450) y Sur (95). Su trazado se puede ver en la figura 4.18 de estos 1,050 hm<sup>3</sup>, el 44% se destina al abastecimiento, y el restante 56% al riego que no podrán ser de nueva transformación como ya hemos mencionado. El agua destinada al riego sería para eliminar la sobre dotación y la sobreexplotación de acuíferos subterráneos. Además, se preveían unas pérdidas del 5%, con lo que el trasvase neto sería de 1,000 hm<sup>3</sup>.





Fig. No 4.18: Principales actuaciones del Plan Hidrológico Nacional de 2001



Fig. No 4.19: Localización geográfica de la transferencia Tajo-Segura.

Esta infraestructura se divide en cuatro partes: la pretransferencia, el acueducto Tajo-Segura (ATS), la postransferencia y las obras de puesta en riego (Comisión para el Desarrollo Socioeconómico de la Cuenca del Segura, 1977: 232). La pretransferencia comprende todas las

obras hidráulicas realizadas en la cuenca del Tajo necesarias para poder realizar la transferencia (Melgarejo y López, 2009: 62). El ATS es el canal que conecta físicamente el embalse de Bolarque, en la cuenca del Tajo, con el de Talave, ya en la cuenca del Segura. La postransferencia está formado por el conjunto de infraestructuras para el transporte, la regulación y la distribución de las aguas de la transferencia en la cuenca del Segura y las provincias de Alicante y Almería desde el embalse de Talave hasta las redes primarias de riego. Por último, las obras de puesta en riego son todas las que se realicen a partir de las redes primarias para poner en riego de forma efectiva todas las áreas receptoras de la transferencia. A continuación, pasaremos a explicar brevemente cada una de ellas



Fuente: SCRATS (2010).

Fig. No 4.20: Esquema funcional del sistema de cabecera del acueducto Tajo-Segura

La capacidad de regulación conjunta de Entrepeñas y Buendía fue estimada en unos 1,200 hm<sup>3</sup>, habiendo fijado en el Anteproyecto una cantidad máxima a trasvasar de 1,000 hm<sup>3</sup>, que es para lo que se dimensionó el trasvase (Martín y Pliego, 1967: 48-63). Sin embargo, la Ley 21/1971 sobre el aprovechamiento conjunto Tajo-Segura, determinó, como ya habíamos comentado en el apartado anterior, que en una primera fase sólo se podrían trasvasar hasta 600 hm<sup>3</sup> (art. 1.1). Para poder trasvasar los 400 hm<sup>3</sup> adicionales de la segunda fase esta ley obligaba a construir nueva capacidad de regulación y almacenamiento (art. 1.2), de forma que la segunda fase del trasvase no limitase en absoluto la disponibilidad de agua en la cuenca cedente. Las obras de regulación a estudiar se enumeraban en el artículo 3, e incluían una decena de embalses que podrían almacenar entre 360 hm<sup>3</sup> (Comisión para el Desarrollo Socioeconómico de la Cuenca del Segura, 1977: 236) y 400 hm<sup>3</sup> (Sandoval, 1989: 48).

Junto a las obras de regulación, en el artículo 3 también se enumeraban las llamadas obras de “compensación” a la cuenca donante, que ya hemos tratado en el apartado anterior y que incluían, entre otras cosas, abastecimientos y transformaciones en regadío en la cuenca del Tajo, así como

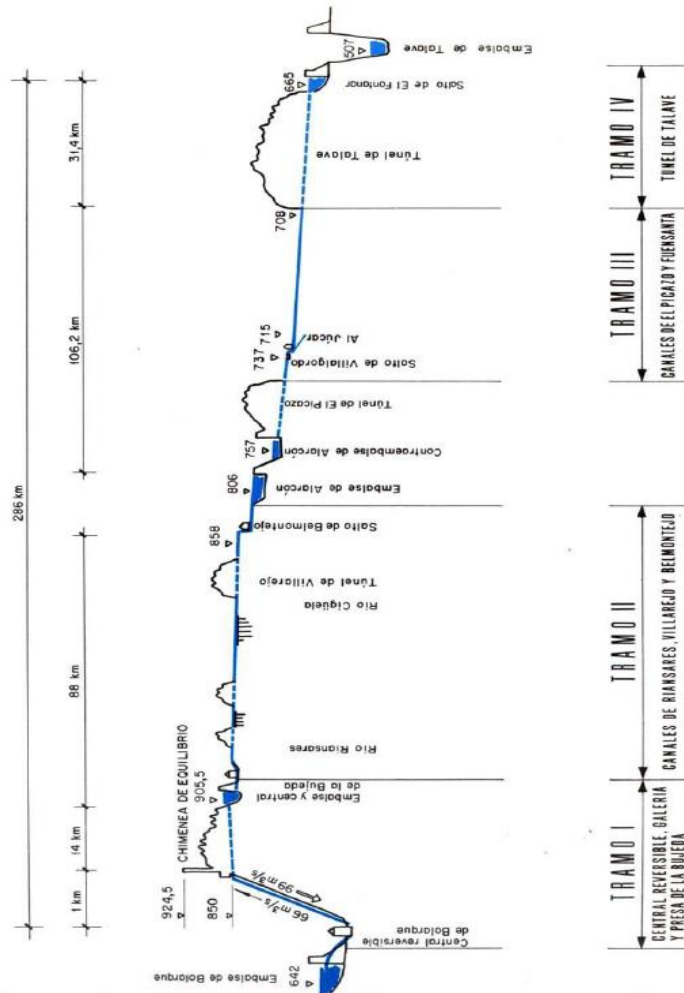
la construcción de las depuradoras de Madrid, Alcalá de Henares, Aranjuez, Toledo, Talavera y Cáceres. Parte de la tarifa que pagasen los usuarios de la transferencia se destinaría a la realización de todas estas obras incluidas en el artículo 3 que superasen los estudios de viabilidad.

### **El acueducto Tajo-Segura (ATS)**

El acueducto Tajo-Segura (ATS) es la infraestructura que conecta el embalse de Bolarque en el río Tajo (o el de La Bujeda, si queremos ser más exactos) con el de Talave en el río Mundo en la cuenca del Segura. El acueducto está dimensionado para transferir 33 m<sup>3</sup>/segundo, lo que representa unos 1,040 hm<sup>3</sup> al año. La distancia desde la central reversible de Bolarque II hasta la salida del túnel de Talave es de un 286 km, tal como se puede ver en la figura 4.21.

Como se puede ver en esta figura, podemos dividir el ATS en cuatro tramos:

- Desde la central reversible de Bolarque II hasta la presa de La Bujeda, que sirve para elevar el agua hasta el canal propiamente dicho.
- Desde la presa de La Bujeda hasta el embalse de Alarcón, que comprendería los canales de Riansares, Villarejo, Belmontejo, y Juncosillo, incluyendo los acueductos de Riansares y del Cigüela, así como los túneles de Altomira, Carrascosa y Villarejo.
- Desde la salida del túnel del Picazo, que transporta el agua desde el embalse de Alarcón hasta el túnel de Talave. Este tramo está compuesto por el canal de El Picazo (incluyendo el acueducto de Santa Quiteria) y el de Fuensanta.
- Desde el comienzo del túnel de Talave hasta el embalse de Talave en el río Mundo, afluente del Segura por la margen izquierda.



Fuente: Sandoval (1989: 51).

Fig. No. 4.21: Perfil longitudinal del acueducto Tajo-Segura

### 4.3.3.- China.

Cuenta con una enorme extensión territorial de 9.6 millones de Km<sup>2</sup> y con la población más grande del planeta, más de 1,200 millones de habitantes.

Como sabemos para la **República Popular de China**, su principal tarea, es el garantizar la alimentación para esta enorme población, la cual se encuentra en un constante crecimiento. Para poder lograr lo anterior, se tendrá que producir en todas las tierras aptas para la agricultura, por obvias razones al mismo tiempo tendrá que suministrarse la suficiente cantidad de agua, para estas zonas agrícolas que se pretenden utilizar, así como para los crecientes centros de población y las zonas industriales. Por diversas evaluaciones realizadas, respetó a la disponibilidad de recursos hídricos de China, se cuenta de 2,660 a 2,700 Km<sup>3</sup>/anuales. El suministro de agua para cada habitante, es de 7. 3 m<sup>3</sup> al día, lo que representa de 3 a 7 veces menos, que el promedio mundial. Dentro del territorio de China, su distribución es muy variable bajando en ocasiones hasta 1. 5 m<sup>3</sup> al día.

Es natural que no todo el volumen de agua, de los ríos puede ser utilizado, ya que gran parte de este volumen escurre durante la época de avenidas, por otro lado, se debe dejar un volumen

ecológico para el sustento de los ecosistemas en las cuencas hidrológicas, estos escurrimientos se estiman en 700 Km<sup>3</sup> anuales, como escurrimiento base.

Los recursos hídricos en China empezaron hacer más utilizados a partir de 1949 a 1979, en esa época se construyeron una gran cantidad de presas de almacenamiento, cerca de 80,000 con un volumen total de 400 Km<sup>3</sup>, de estas presas 300 son grandes presas, con un volumen de almacenamiento superior a los 100 Km<sup>3</sup>. Como en muchos otros países el mayor usuario es el sector agrícola, adicionalmente a las aguas superficiales, se aprovecha otra fuente importante de abastecimiento de agua, nos referimos a las aguas subterráneas, de donde se extrae un volumen de 40 a 50 Km<sup>3</sup> anuales.

Los problemas de desbaste de agua, se agudizan debido a que se registra una alta contaminación de las aguas, por la falta de tratamiento de las aguas residuales de los centros de población, zonas industriales y una enorme cantidad de acarreo de azolves en suspensión proveniente de los ríos. Por los principales ríos como el Yang Tze Kiang, se pierden suelos fértiles al transportarse un enorme volumen de material en suspensión 1,600 millones de toneladas, como resultado de lo anterior en la desembocadura de los ríos, se incrementa el nivel del terreno, formando terrazas de 12 cm. cada año, este proceso hidrodinámico de transporte de sedimentos, nos indica la enorme pérdida de suelos altamente productivos provenientes de las cuencas hidrológicas, el proceso de erosión, representa para esta nación una calamidad, que va minando la economía de este gran país.

Por otro lado, hay que destacar que el régimen hidrológico, es muy irregular, debido principalmente a que los escurrimientos se generan durante la época de verano, así como durante la aparición de los monzones que traen los vientos del suroeste.

Las precipitaciones más bajas se registran durante el período de invierno-primavera. Este comportamiento representa un fuerte obstáculo para el desarrollo agrícola, ya que la época de siembra e inicio vegetativo de los cultivos, es cuando presentan un mayor déficit de agua, complicando el desarrollo agrícola de vastas regiones.

Por otro lado, los fenómenos extremos naturales e inducidos, como las inundaciones, las sequías, la erosión, el asolvamiento de los ríos y embalses, a través de todos los tiempos estos fenómenos han representado una amenaza constante, limitando considerablemente el desarrollo sustentable de los sistemas hidroeconómicos y crecimiento poblacional de China.

En ambas márgenes de los ríos se han construido una enorme cantidad de canales, bordos de protección marginales, con un total de 160,000 kilómetros y presas para proteger a los centros de población y zonas productivas (75 millones de hectáreas).

En la actualidad, se explota más de un 10% de las reservas de agua subterránea, estimada en 700 Km<sup>3</sup> de agua dulce, en la región noroeste de China la sobreexplotación, se ha dejado sentir manifestándose por medio de los asentamientos diferenciales de los suelos, deslizamiento de laderas y contaminación salina de los mantos freáticos. Como ejemplo tenemos el caso de la ciudad de Pekín, la cual, por muchos años, se abastecía primordialmente de las aguas subterráneas. En la actualidad, por una sobreexplotación de más de 40 años, disminuyeron considerablemente los niveles estáticos a más de 30 metros de profundidad, debido a esta sobreexplotación y como consecuencia, se presentan hundimientos en una superficie de más de 1000 Km<sup>2</sup>.

También observamos una baja calidad del agua en los ríos, no obstante, continúa su utilización para el abastecimiento de centros de población, las industrias en las ciudades de Shanghai, asimismo se manifiesta un fuerte déficit de agua en los centros industriales más importantes, como son el puerto de Tientsin "Tianjin", que conjuntamente con las zonas conurbanas sobrepasan los 10 millones de habitantes.

Los problemas de agua, se agudizaron principalmente durante las sequías ocurridas, en los años de 1980 a 1982, las regiones más afectadas fueron las del norte. Una situación muy apremiante sufre la ciudad de Pekín y Tientsin, así como todas sus zonas conurbanas y parques industriales. Para solventar esta situación, los técnicos chinos decidieron elaborar un proyecto para transferir agua del río Juange, hacia la provincia de Jubei, ciudad de Ujan. Donde se construyó un sistema

de transferencia de escurrimientos tomando un volumen parcial del río Luanje, hacia la ciudad de Tientsin, de donde se transfiere un volumen de agua de 1.0 Km<sup>3</sup>/año. Para el noroeste de China, se propuso realizar un proyecto de transferencia de escurrimientos del río Irtysh Negro, aguas arriba de la ciudad de Irtysh, por un volumen de 1.0 a 5.0 Km<sup>3</sup>/años, en la parte central de la provincia de Sintzian, para cubrir las demandas de agua del sector agrícola de esta región árida.

Para dominar las tierras de cultivo en la planicie del norte de China, los recursos hídricos son insuficientes. Por tanto, se tiene un enorme déficit de agua en esta región, si consideramos las demandas de agua en la industria, así como el suministro de agua los centros de población rural y urbana, este representa cerca de 70 Km<sup>3</sup>/años. Las posibilidades de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones de la parte sur de China, hacia el norte, esta posibilidad se ha estado analizando durante varias decenas de años. El gobierno de China propuso una alternativa desde los años cincuenta. Cabe mencionar que los últimos años se han analizado ampliamente, tres importantes alternativas de transferencia de escurrimientos de la cuenca hidrológicas del río Yang Tze Kiang (occidental en su parte media y oriental, así como de la cuenca alta e intermedia y baja del río).

Una de las alternativas que estamos mencionando, es la que se refiere a la parte occidental, la cual involucra más de 10 diversos esquemas, que contempla la extracción de agua de la margen derecha del río Yang Tze Kiang hacia Pekín, de sus tributarios, de los cuales se transferiría una parte de sus escurrimientos de agua, hacia la ciudad del río Hoang-Ho. Los trabajos se efectuaron a través de una serie de Organizaciones, ligadas con la Academia de Ciencias de China, donde se efectuó un exhaustivo reconocimiento de campo durante el lapso de 1958 a 1960. En base al análisis de la información, se obtuvieron como resultado alternativas por medio de las cuales, se distribuirían las aguas de la cuenca alta del río Yang Tze-Kiang. La evaluación de estas alternativas, contempla el cruce de zonas montañosas bajo unas condiciones sumamente complejas, a una altitud de 2000 a 3000 m.s.n.m., estas lamentablemente no pudieron ser sustentadas con los soportes suficientes, que pudiesen resolver la problemática anterior, por tal motivo fueron desechadas.

La alternativa central, contempla la toma de agua de las presas de almacenamiento que actualmente operan, estas se ubican sobre los ríos Dantzian, Yang Tze-Kiang, podrá transferir agua al occidente, donde se encuentran las ricas zonas de riego de la planicie del norte de China, Pekín continúa hacia el occidente a las zonas de riego y la ciudad de Pekín. En este proyecto se contempla el incremento de la cortina de la presa Dantzian, de 13 m. a 175 m., con lo cual se incrementará el almacenamiento hasta 33 Km<sup>3</sup> de agua. De lo anterior se obtiene un volumen útil de 16 a 19 Km<sup>3</sup>, lo que representa 3 Km<sup>3</sup> adicionales. A través del río Juange, sus escurrimientos deberán transferirse a través de un acueducto con una longitud total de la línea de conducción de 1,270 Km. El volumen a transferir, es de 31 Km<sup>3</sup> /años, de los cuales 24 Km<sup>3</sup>, están destinados para el riego de 5 millones de hectáreas, en nuevas tierras y el mejoramiento de 1.3 millones hectáreas ya existentes de 7.4 Km<sup>3</sup> para satisfacer las demandas del sector industrial y centros de población.

La alternativa oriental comprende la transferencia de una parte de los escurrimientos del río Yang Tze-Kiang, iniciando desde la población de Yanchzhou, ubicado a 80 Km. al oriente de la ciudad de Nankín. El agua se tomará en forma directa del río Yang Tze Kiang, por medio de cárcamos de bombeo para dirigirse hacia el norte a través de un gran canal, el cual cruzará el río Juange, Jaije, así como una serie de lagunas ubicadas en la parte oriental y en las tierras de las planicies del norte de China, para llegar hasta la ciudad Tiansinia, el gran canal construido durante los siglos VII y VIII, que se pretende ampliar y construir, uno de los principales problemas técnicos de esta transferencia de escurrimientos, lo representa el hecho de que habrá que librar grandes desniveles.

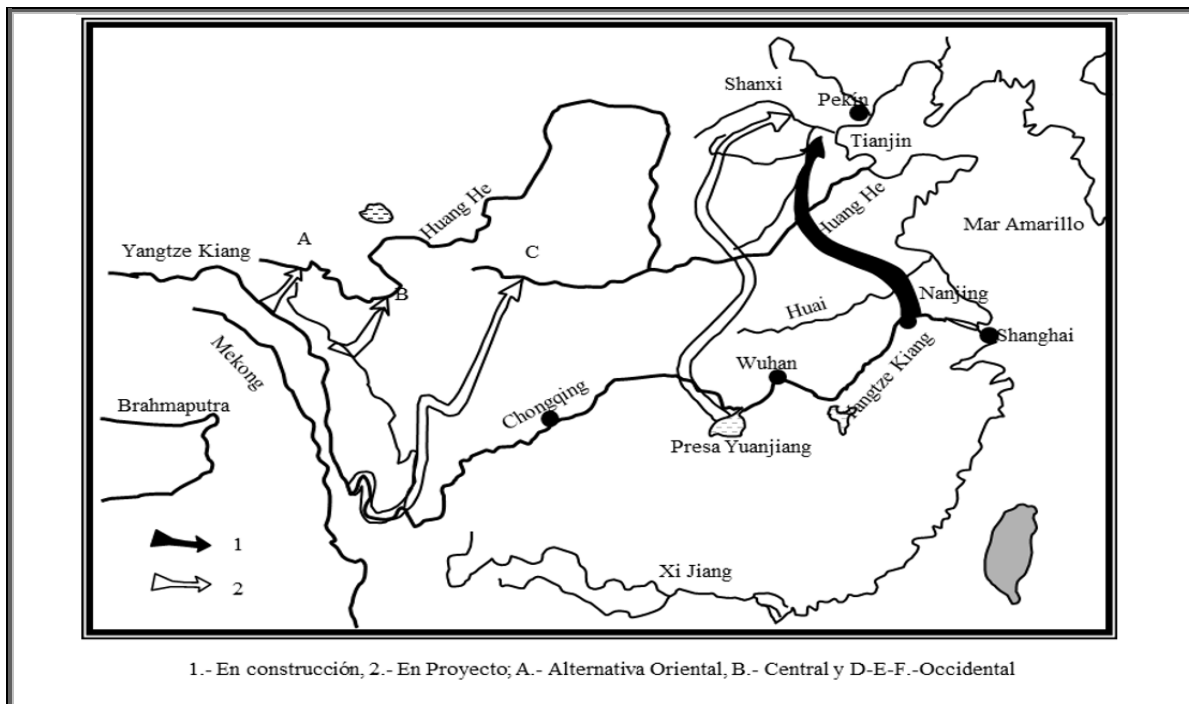
Para poder levantar grandes volúmenes de agua, a grandes alturas, se requerirá la construcción de 10 estaciones de bombeo que consumirán energía eléctrica, de 3,000 a 5,000 millones de Kw al año. A través del río Juange, se transfiere el agua por un canal de 600 metros, el cual se extenderá por el cauce del río. El volumen de diseño a transferir es de 14 Km<sup>3</sup>/años, de un escurrimiento medio multianual de 30 Km<sup>3</sup> durante los años de grandes avenidas. La ejecución de este proyecto permitirá incorporar al riego 4 millones de hectáreas, con suelos altamente fértiles,

así como el suministro de 3 Km<sup>3</sup>/anuales de agua para la industria. La longitud de la línea de transferencia de agua conforme a la alternativa occidental es de 1150 Km. El proyecto contempla además del consumo de energía eléctrica, también la generación de la misma. Adicionalmente se prevé la explotación de yacimientos de carbón de piedra, con lo cual se permitirá obtener la energía eléctrica requerida para los bombeos del agua.

Considerando la magnitud de los proyectos elaborados, se contemplaron los efectos por los impactos ambientales. En estos proyectos participaron científicos chinos, así como expertos de la Organización de las Naciones Unidas. Este grupo internacional de expertos, estuvo encabezado por un brillante especialista en el área del uso, manejo y aprovechamientos de los recursos hídricos, nos referimos al Dr. Biswas A.K.

Después de haber aprobado la alternativa occidental, propuesta por el gobierno chino en 1983, se inició su primera etapa de ejecución, con el canal que parte del río Yang Tze-Kiang, hasta el río Hoang-Ho (los trabajos consisten en ampliar y profundizar el gran canal). Como sabemos la República Popular China ha acumulado una vasta experiencia, en el campo de la construcción de obras hidráulicas. Aquí podemos incluir pequeñas transferencias de agua para el riego, obras de protección contra inundaciones, el suministro de agua potable y etc. La realización de la transferencia de grandes volúmenes de agua entre cuencas hidrológicas, requiere de nuevas soluciones de ingeniería, sociales, legales y fundamentalmente ecológicas.

Tomando en cuenta lo anterior la Academia de Ciencias de China, así como la dependencia responsable del sector hidráulico de China, están realizando serios trabajos de investigación, que deberán continuarse durante la etapa de construcción del sistema de transferencia de escurrimientos, para contemplar las diversas medidas correctivas que habrá que realizar. Debemos reconocer que la incorporación de grandes superficies de riego para obtener grandes volúmenes de cosechas en China, ha motivado la generación de zonas con exceso de humedad, debido que no se ha contemplado un uso eficiente del agua, con el drenaje apropiado, provocando malas prácticas en manejo de los recursos hídricos perdiendo valiosos suelos (ver Fig. No. 4.10).



Fuente: Shiklomanov I.A.

**Fig. No. 4.10 Transferencias en China**

#### 4.3.4 La India

En gran parte del territorio de la India, se tienen importantes fuentes de agua, a excepción de la zona montañosa del Himalaya, la cuenca del río Ganges, se extiende a lo largo de la franja del mar de Arabia, así como en las laderas occidentales de Gatt.

El total de escurrimientos en la india representa cerca de 1800 Km<sup>3</sup> anuales, la demanda de agua por habitante ha crecido enormemente, para una población de más de 800 millones de habitantes, 2. 25 m<sup>3</sup> al día, prácticamente 4.5 veces menos que la media mundial, cabe mencionar que en el estado de Assam, en la zona de mayor escurrimiento de agua a cada persona le corresponden 100 m<sup>3</sup> al día, una situación totalmente contraria a la que se presenta en la zona semidesértica de Rajasthan, que se ubica en el mismo paralelo que Assam, aquí la dotación es mucho menor 2.2 m<sup>3</sup> al día.

Los ríos más caudalosos de la India son el río Ganges y Brahmaputra, en parte de su recorrido atraviesa el territorio hindú, la mayor parte del río se encuentra en territorio de Pakistán, únicamente la cuenca alta del río Hindi, se encuentra en la República de la India, el principal tributario en la margen izquierda se encuentra el río Sutlej (Ríos Rabí y Bías).

Conforme al tratado entre Pakistán y la República de la India en 1960, la India puede hacer uso únicamente del 20% de los escurrimientos de esa cuenca hidrológica, es decir 42 kilómetros cúbicos anuales. Parte de los tributarios que se encuentran en la margen izquierda del río Ganges, se forman en territorio nepalés, desembocando el río Ganges y Brahmaputra, en la frontera de Bangla Desh. Entre un 70 a un 90% de los escurrimientos, se presentan durante la época de verano con la presencia del Monzón lluvioso, que inicia a partir de junio hasta septiembre. En estos meses es cuando se presentan los mayores escurrimientos que provienen del Himalaya. En la frontera limítrofe del suroeste con el estado de Tamjunad, se observa una situación contraria, cuando se presentan los escurrimientos mínimos durante el verano, y el máximo al inicio del invierno. Como podemos observar la siembra tiene lugar durante la primavera, en el suroeste durante el verano se presentan los mayores déficits de agua superficial. Cuando ocurre un retraso del Monzón, sus efectos se ven reflejados fuertemente en las zonas agrícolas.

Como en todos lados el usuario que mucho mayor volumen de agua demanda, es el sector agrícola, el 70% de la superficie abierta a la agricultura, se encuentra en una zona donde el riego es de suma importancia, para poder garantizar que se lograrán las cosechas durante el estiaje. Como sabemos históricamente en la India la agricultura tienen más de 6000 años, actualmente la superficie bajo riego se incrementó hasta 60 millones hectáreas, lo cual constituye un 55% de todas las tierras cultivables. La cantidad total de agua superficial aprovechada, es de 300 Km<sup>3</sup> anuales, es decir un 18% de los recursos hídricos. Los pronósticos nos muestran que bajo el actual ritmo de crecimiento poblacional, se tendrá que incrementar la superficie hasta 90 o 92 millones de hectáreas, por tanto tendremos también que incrementar el uso del agua, en dos o tres veces más en comparación a los niveles actuales de consumo, que se realiza en otros países.

Cabe mencionar que los pronósticos efectuados por los científicos Levintanus A., en su estudio los problemas del agua en la India, así como los recursos hídricos pueden ser totalmente aprovechados en el noroeste de la India donde se ubican los ríos Dzhamna, Sutlej y Bías), así como el río Koveri, Pennaru, los tributarios del río Ganges (Chambal, San y Gamati), el río Krishna el cual pertenece al oriente. Para el año 2000 el sistema hidroeconómico de este país incorporará los recursos hídricos de la parte central de la India y del río Godavari. Más adelante del año 2000, las reservas de porque no se usan actualmente, se conservarán únicamente aquellos que se ubican en el noroeste y sureste de la costa peninsular del país. La planeación de la construcción de las grandes obras hidráulicas en la india tiene su inicio desde 1951, abarcando el período de 1950 a 1980, que fue cuando se ejecutaron cerca de 170 grandes obras hidráulicas y unas 900 obras hidráulicas de mediana envergadura para el riego, gran parte de ellas se encuentran en operación.

Cabe mencionar que en 1980, se realizaron 46 proyectos de grandes dimensiones y 517 de mediano nivel. Todos los problemas relacionados con la planeación y el diseño de sistemas hidroeconómicos, fueron dirigidos por las Autoridades Federales correspondientes. Los gastos

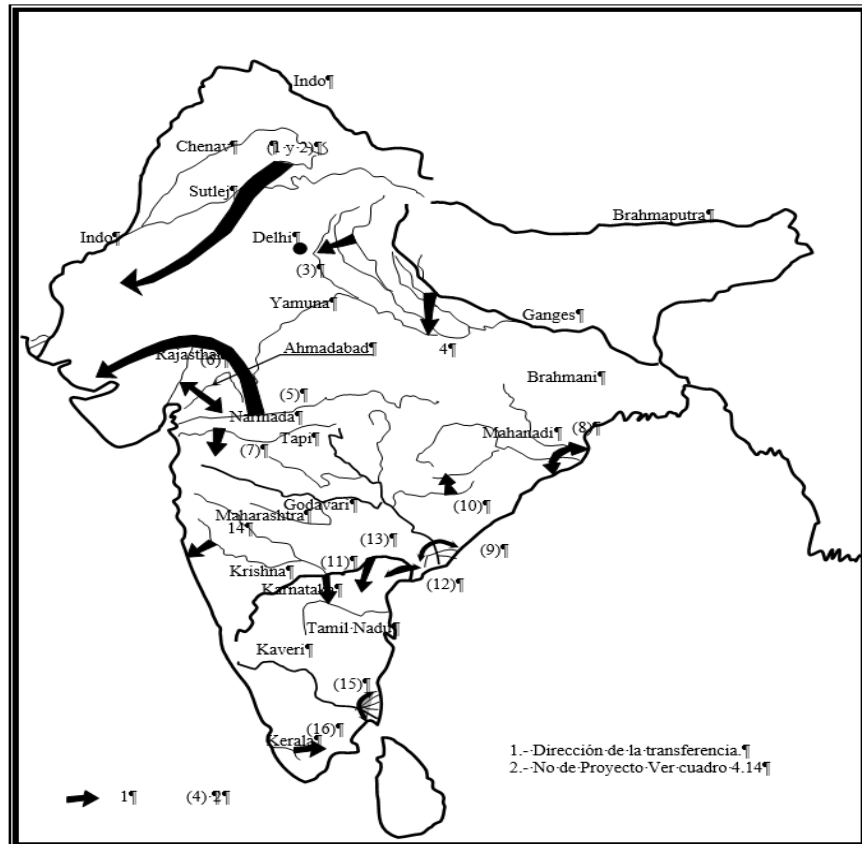


realizados por el Gobierno Federal en el ámbito hidroagrícola, representa más de 70 mil millones de rupias, a corto plazo se prevé otra cuantiosa inversión de 10 mil millones de rupias por año.

Muchas de estas propuestas están dirigidas a obtener un manejo y aprovechamiento integral de los recursos hídricos superficiales, además cabe mencionar que mucha atención se ha prestado a los proyectos de transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas.

Se han realizado pequeñas transferencias de agua entre algunas cuencas hidrológicas de los ríos Hindi y Ganges, la redistribución de los escurrimientos, se realizó desde hace ya más de cinco siglos, ya funcionaban los canales al este de Dzhmun y Agr, de los cuales parte de sus escurrimientos provienen del Himalaya, se suministraban al Punjab, Uttar - Pradesh Y Rajasthan. En el siglo XIX, los escurrimientos de los ríos del estado de Kerala (al sureste del cabo de Indostaní), se transfirió hacia al oriente de las zonas desérticas. En épocas anteriores se construyó una gran red de sistemas de canales, aguas arriba del río Ganges, así como en las cuencas de los ríos Mahanadi, Godavari, Krishna, con lo cual se permitió manejar con mayor efectividad los escurrimientos de estos ríos para las zonas de riego. Esta redistribución de los escurrimientos entre cuencas hidrológicas, tiene como ejemplo el sistema de riego en el delta del río Krishna, el cual se construyó en el año de 1855, para regar medio millón de hectáreas, de las cuales una parte se encuentra fuera de los límites de la cuenca del río Krishna. Para regar esta superficie se transfieren cerca de cinco Km<sup>3</sup> de agua anual del río Krishna. Actualmente el volumen de transferencia ha alcanzado los 50 Km<sup>3</sup> anuales de agua (**ver Tabla No. 4.14**).

Por las dimensiones de las transferencias de escurrimientos de agua en la india, éste ocupa el tercer lugar, sólo después de Rusia y Canadá. La principal transferencia de escurrimientos de agua, se realizó en tres principales ríos del Himalaya estos son, Ravi, Bias y Sutlej, localizados al sur para el riego de las tierras de los estados del Punjab, Jorian, Parzhastjan y Dzhammy - Kashmir. (**Ver Fig. No.4.11**).



Fuente: Elaboración propia con datos de Shiklomanov I.A.

**Fig. No. 4.11 Transferencias de escurrimientos en la India.**

Volúmenes considerables de escurrimientos se redistribuyen en el suroeste del país. En particular el proyecto "Nagardzhunasagar", realizado con ayuda de especialistas rusos, que toman parte de los escurrimientos del río Crishna para transferir fuera de su propia cuenca cerca de 4.5 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, destinados al riego de 0.4 millones hectáreas, de tierras altamente productivas en cuencas contiguas al río Crishna (ver Tabla No. 5. 25). Adicionalmente se efectuó la construcción de varios sistemas hidroeconómicos de grandes dimensiones, basado en la regulación y redistribución territorial de los escurrimientos de agua.

Al norte del país se construye un complejo hidrotécnico denominado "Canal de Rajasthan", dirigiendo los escurrimientos provenientes del Himalaya hacia (cuenca alta del río Indo) las regiones semidesérticas de "Rajasthan", así como hacia el desierto de "Tarim". En la actualidad se construye el embalse denominado Pong sobre el río Bias, la presa tendrá una altura de 134 metros, la cual almacenará cerca de 6 Km<sup>3</sup> de agua. En este sistema se incluye el canal denominado Gang, construido en 1927, en la región de Bicaner en el estado de Rajasthan, de donde se riega una superficie de 300,000 hectáreas. Como observamos en su conjunto, éste es un complejo hidrotécnico que permite el riego de 1.8 millones de hectáreas, de tierras áridas y semiáridas. En este sistema se incluirá el canal de Rajasthan, el cual adquirirá una longitud de 7000 Km. y varias presas de almacenamiento. En el futuro se prevé incorporar adicionalmente 200,000 hectáreas de tierras aptas para el cultivo. El volumen total a transferir de escurrimientos del río Indo, fuera de su cuenca hidrológica, es decir hacia el territorio hindú, alcanzando en un futuro la transferencia de escurrimientos por 25 Km<sup>3</sup>/anuales, al término de las obras, con este volumen se podrán regar 2.1 millones de hectáreas de tierras áridas y semiáridas.

También se debe comentar que se está por concluir la construcción del Sistema Hidroeconómico denominado "Sarda Sajaik", tomando uno de los tributarios de la margen izquierda del río Ganges, localizado en el estado de Uttar-Pradesh, con apoyo de dos presas de almacenamiento y canales magistrales, con una longitud de 260 Km., en las planicies de la cuenca hidrológica del río Ganges, para poder regar 1.2 millones de hectáreas. El volumen de escurrimientos transferible, es de 15.4 Km<sup>3</sup>/anuales de agua. En este proyecto también se contempla la construcción de dos sistemas de riego necesarios.

En el proyecto "Ramganga" parte del agua del río Ramganga, el cual es un tributario del río Ganges, que se incorpora por la margen izquierda, con lo cual se podrá incrementar la superficie de riego hasta 600,000 hectáreas adicionales, así como el mejoramiento del suministro de agua a centros de población como la ciudad de Delhi, las obras hidráulicas de este proyecto han concluido.

Actualmente en la India continúan estudiando otras alternativas de transferencia de escurrimientos y regulación de sus ríos, de lo anterior podemos observar que muchas zonas y centros de población no podrán satisfacerse de agua. Por tal motivo en la India se formó una Agencia Especializada para el Desarrollo de los Recursos Hídricos Nacionales (National Water Resources Development Agency), la cual está encargada de investigar el futuro desarrollo hidráulico del país. El gobierno hindú ha asignado cuantiosos recursos económicos para financiar estas investigaciones, que permitirán fundamentar los proyectos y sistemas hidroeconómicos del futuro.

Los futuros complejos hidroeconómicos, en la India contemplan la creación de un Sistema Hidráulico Nacional Único, que permita subdividirse en dos grandes grupos.

- Esquema Nacional de la Red Hidráulica, "National Water Grid" (NWG).
- Esquema de la Gran Guirlanda Hidráulica, Great Water Gurlands (GWG).

En su conjunto estos esquemas contemplan interceptar los escurrimientos del norte de las montañas de la india y transferir los escurrimientos a las regiones centrales, donde se presentan insuficiencias de agua, con lo cual se podrá incrementar el suministro de agua durante la temporada de estiaje. Este sistema hidráulico interconectado tiene como objetivo principal cubrir

las demandas de agua en el país, esta demanda de agua actualmente varía de 700 a 1,000 Km<sup>3</sup> anuales.

De acuerdo al primer esquema parte del escurrimiento del río Ganges, es decir 22 Km<sup>3</sup>/anuales, se enviará este volumen de agua desde la ciudad de Piatna, hacia las zonas áridas de los estados de Uttar Pradesh y Bihar, continuando hasta unirse al sistema de canales de los ríos Majanadi, Godavari, Krishna, Kaveri, con una longitud de más de 2000 Km., así como la interconexión con los ríos Narmada y Tapti. En estos esquemas se contempla lo siguiente:

- Transferir 16 Km<sup>3</sup> anuales de agua del río Brahmaputra al río Ganges, con el objeto de utilizar sus aguas en la época de avenidas, que se generan en el río Brahmaputra dos meses antes que en el río Ganges, con objeto de utilizar sus aguas en la temporada de estiaje para regar la zona baja del río Ganges, así como disminuir las inundaciones que provoca el río Brahmaputra.
- La transferencia de 13 Km<sup>3</sup> anuales de agua del río Narmada del estado de Gudsharat (al noroeste de Indostán), a través de un canal de gran capacidad de conducción denominado "Narmada" que se extiende unos 1000 kilómetros de longitud.
- La transferencia de una parte de los escurrimientos de los ríos costeros del sureste de Indostán hacia el oriente de las regiones áridas de Gatt.

Los últimos dos sistemas se están construyendo actualmente. El volumen total a transferir es del orden de 50 a 60 Km<sup>3</sup> anuales según lo planeado por el Esquema del Sistema Nacional Hidráulico.

**Tabla No. 4.14 Sistemas de Transferencia de escurrimientos de Agua en operación y en construcción en la India.**

No	Nombre del Proyecto	Fuente de aprovechamiento	Receptor de agua. Estado, Cuenca	Volumen de Transferencia Km <sup>3</sup> /año	Inicio de la Transferencia/Situación de las Obras	Longitud Km.	Objetivo Principal	Superficie 10 <sup>6</sup> ha.
1	Canal Ganges	Indo	Radjasthan	3.0	1927	914	Riego	0.30
2	Sistema de Canales Radjasthan	Bias, Ravi, Bjakra (Indo)	Radjasthan, Jarian	22	En construcción desde 1960	470	Riego	1.80
3	Ramjanga	Ramjanga Ganges	Sistema de Canales río Ganges, Nueva Delhi	4.7	Por Concluir	200	Riego Suministro de Agua	0.56
4	Sarda Sajaik	Jgrajra Ganges	Valle del río Ganges	15	Por Concluir	260	Riego	1.20
5	Canal Narmada A alta Presión	Narmada	Gujarat, Radjasthan	13	En construcción	1000	Riego	1.44
6	Maji	Maji	Inter cuencas	1.5	En construcción	100	Riego	0.18
7	Tapti	Tapti	Inter cuencas	2.6	Concluido	100	Riego	0.21
8	Sistema de riego en el delta	Majanadi	Inter cuencas	5.0	1853	200	Riego	0.50
9	Sistema de riego en el delta	Godavari	Inter cuencas	2.5	1877	200	Riego	0.20
10	Alto Indravati	Indravati Ganges	Inter cuencas	2.5	En Construcción	150	Hidroenergía Riego	
11	Canal Kamul-kuddana	Tundgabjadra Krishna	Cuenca del río Pendaru	1.1	1866	200	Riego	0.11
12	Sistema de Riego en el delta	Krishna	Inter cuencas	4.5	1855	200	Riego	0.36
13	Nagarjuna Sagar	Krishna	Inter cuencas	4.5	1974	200	Riego	0.43
14	Tata Judeli	Krishna	Ríos en la Costa del Mar Arábigo	4.0	En Construcción	200	Hidroenergía Riego	0.43
15	Sistema de Riego en el delta	Kaveri	Inter cuencas	0.6	Antes de Nuestra Era	200	Riego	0.06
16	Palar	Palar	Río Vaigai	1.0	1897	100	Riego	0.08
17	Parambukulam - Aliar	Ríos Nivar, Sholayar, Parambukulam, Tunakadan, Peruvripallam	Ríos Aliar, Pallar	1.0	En construcción Desde 1959	100	Riego	0.10

Fuente: Shiklomanov I.A.

De acuerdo al esquema planteado por la Gran Guirlanda Hidráulica "GWG", elaborado por un reconocido ingeniero de la India Dastur, todos los escurrimientos de agua superficial, se pretenden interceptar y distribuir en el territorio por medio de dos canales de enormes dimensiones.

- Himalaya, con una longitud de 3,800 kilómetros, un ancho de plantilla de 300 metros y una profundidad variable de 10 a 15 metros, el agua se transportará por el canal, se acumulará en presas de almacenamiento ubicadas en la cordillera del Himalaya, por arriba de los 1,000 m.s.n.m.
- Central del sur con una longitud de 9,000 kilómetros que drenara los escurrimientos superficiales del territorio central de Indostán, se encuentra a más de 500 m.s.n.m.

El canal del Himalaya inicia a partir del río Ravi, denominado "Sistema Hidráulico del río Indo", atravesando toda la cordillera del sur del Himalaya, incluyendo el río Brahmaputra, hasta entregar los escurrimientos al Golfo de Bengala, en el río Carnapjuli. El escurrimiento total de agua acumulado en las presas de almacenamiento y canales, serán de aproximadamente 300 Km<sup>3</sup>, el volumen anual a transferir al sur, a través del sistema hidráulico de distribución será de 180 Km<sup>3</sup> anuales. El canal central del sur entregara el agua, en la parte central de la península de Indostán, formando un sistema hidráulico de canales y drenes serrados, que redistribuirán el escurrimiento superficial. La capacidad de almacenamiento proyectada en las presas y canales será de 925 Km<sup>3</sup> anual de agua y el volumen de suministro a los sistemas de riego y agua potable, es de 850 Km<sup>3</sup> anuales. El proyecto considera unir los Sistemas del Himalaya y Central del sur, en dos sitios.

Se considera que con la construcción de estos dos grandes sistemas hidroeconómicos, se podrá resolver los principales problemas del agua, no solamente de la India, sino también de Bangla Desh, con lo cual se podrán regar prácticamente todas las tierras con vocación agrícola, se estimulara el desarrollo hidroenergético, industrial y algo sumamente importante la creación de numerosas fuentes de trabajo para la población.

Como podemos suponer la realización de estas obras tan grandiosas, se complican en la actualidad ya que se requieren fabulosos capitales de inversión y una enorme cantidad de personal calificado. Por los cálculos hechos sostienen que se requieren cerca de 150 a 170 mil millones de rupias, las obras tendrían una duración entre 50 a 60 años, para una mano de obra de aproximadamente de 20 millones de personas.

En la actualidad aparte de estos proyectos, se están realizando, particularmente la construcción del canal denominado "Narmada", el cual contempla parte de la transferencia de escurrimientos de los ríos Overal, que cruzará por las montañas del sur del río Gat, en el estado de Tamilnad.

#### **4.3.5 Pakistán**

Es un país con gran tradición agrícola, con una superficie de 804,000 Km<sup>2</sup> y con una población de 100 millones de habitantes. A excepción de su parte montañosa, todo su territorio se encuentra en un clima árido severo. El déficit de los recursos Hídricos locales en la parte sur del país, es de más de 1,500 mm. Para poder garantizar el desarrollo agrícola, sólo es posible donde se cuenta con suficientes recursos hídricos, ya que las tierras cultivables terminan donde termina el agua.

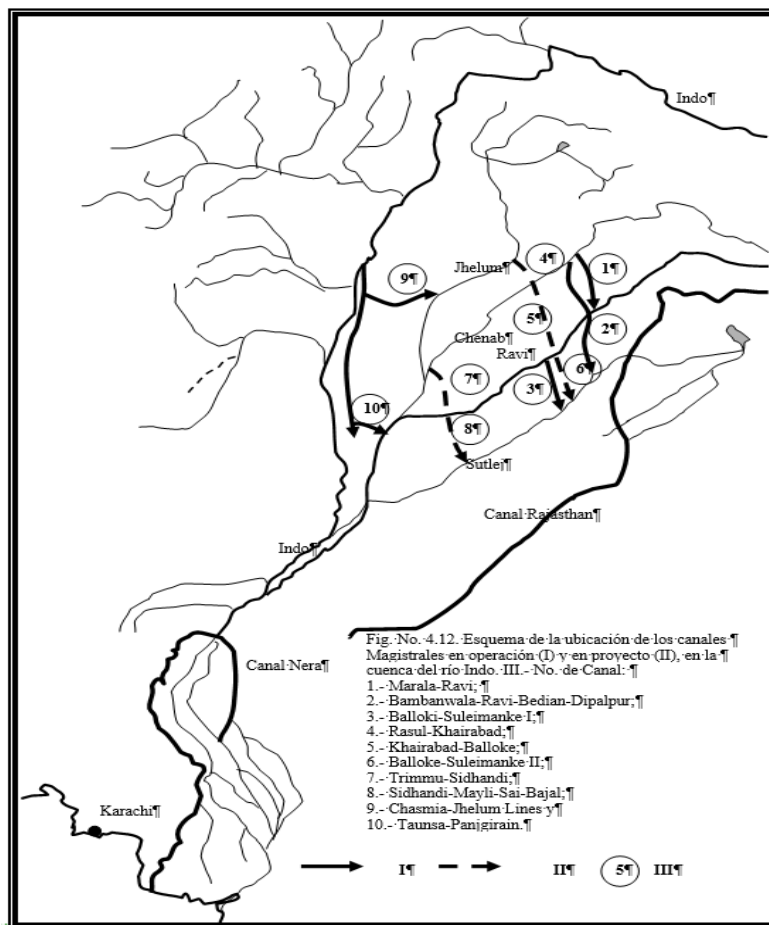
La principal fuente de aprovechamiento de agua lo presenta el sistema hidráulico del río Indo, el cual se forma en la parte norte del país, en las inmediaciones de las montañas del Himalaya y Gunducush, que atraviesa el país del noreste al suroeste. La suma de los recursos hídricos del río Indo, es del orden de 220 Km<sup>3</sup> anuales, el escurrimiento medio anual en su desembocadura, es de 94 Km<sup>3</sup> anuales, es decir únicamente 43% de sus recursos hídricos. Cerca de 100 Km<sup>3</sup> anuales de agua del río Indo, se pierden, sin poder recuperarlos durante el riego, de estos 26 Km<sup>3</sup> anuales se pierden por la evaporación durante la época de avenidas.

La cuenca del río Indo ocupa el primer lugar en el mundo, en superficie regada. En la actualidad se riegan más de 12 millones de hectáreas, de esta superficie 10 millones de hectáreas, se riegan con agua superficial y 2 millones de hectáreas con agua subterránea, la superficie total de riego en Pakistán, es de más de 15 millones de hectáreas.

El sistema de riego en la cuenca del río Indo, representa en sí un sistema de canales por donde escurre agua permanentemente, por medio de ellos se redistribuye el agua entre el río Indo y sus principales tributarios. La longitud total de los canales, es de 64,000 Km. Dentro de los cuales se encuentran 43 grandes canales, parte de ellos transportan el agua a más de 300 Km., estos son: el canal bajo de "Chinabar", con una longitud de 350 kilómetros, el canal denominado "Jacra", con una longitud de 320 Km., los canales denominados Mailsi, Mitjrao, FullHeli y Mir.

De lo anterior podemos establecer que, en las cuencas hidrológicas de Pakistán, se realiza una redistribución territorial de grandes volúmenes de agua para el riego, transfiriendo el agua a distancias mayores a los 300 o 350 Km.

En Pakistán el principal tipo de riego practicado, es el de gravedad, en este país la topografía lo permite y donde esto no es posible se efectúa a través de bombeo de agua subterránea de pozos. En la actualidad Pakistán, es autosuficiente gracias a la producción agropecuaria que genera. No obstante considerando el fuerte crecimiento poblacional que es del 3.5 % anual y el compromiso de garantizar la exportación de productos agropecuarios, para que con las ganancias obtenidas poder importar al país productos industrializados y energéticos, a futuro se plantea incrementar la superficie de riego e intensificar las actividades hidroagrícolas, fundamentalmente en base a la disminución de las pérdidas de agua en los sistemas de riego y recuperación de sus suelos salitrosos y pantanosos. La planificación prevé ampliar los sistemas de riego y la construcción de nuevos canales, que redistribuirán los escurrimientos entre los tributarios del río Indo (**ver Fig. No. 4.12**).



Fuente: Elaboración propia con datos de Shiklomanov I.A.

Fig. No. 4.12 Transferencias en Paquistán.

#### **4.4.- África**

Por la superficie ocupada por el continente africano, lo sitúa en el segundo lugar después de Eurasia, es el área que recibe la mayor cantidad de calor, la distribución territorial de sus precipitaciones y escurrimientos son muy irregulares. Grandes extensiones del norte y del sur en este continente están ocupadas por zonas desérticas y semidesérticas, donde se tienen muy bajas precipitaciones de 1 a 100 mm. al año, los escurrimientos superficiales prácticamente no existen. Por otro lado, en la zona ecuatorial las precipitaciones y escurrimientos alcanzan grandes dimensiones, sobrepasando los 3,000 a 4,000 mm. anuales. Al norte del continente como sabemos se localiza el Sahara, el desierto más grande del planeta con una superficie de más de 7 millones de Km<sup>2</sup>, el déficit de humedad en el occidente y noreste alcanza los 2,500 mm. (Ver gráfica No. 5. 18). Al sur del Sahara, se encuentra la zona de Sajel, donde coincide con la zona de transición húmeda y seca. En el período de 1968 a 1977 ocurrió una de las sequías más severas en el territorio de Sudan y Sajel, abarcando también el territorio de Etiopía, donde la severa sequía representó una tragedia nacional, provocando incalculables pérdidas económicas y muerte de sus pobladores y en general afecto a todo el ecosistema de la región.

Al sur de África en la frontera con Namibia y la República Africana del Sur, donde también se encuentran dos de los más grandes desiertos, estos son Namibia y Calajaharí, el déficit de los recursos hídricos alcanza una lámina de 1,500 mm.

En conjunto África corresponde a un continente con una muy baja disponibilidad de recursos hídricos, la disponibilidad de agua superficial representa 4,570 Km<sup>3</sup> anuales, que incluyen a la isla de Madagascar, en promedio por cada Km<sup>2</sup> de superficie le corresponden 4.8 l/seg. x Km<sup>2</sup>, es decir dos veces menos que en el resto del planeta.

En África se ubican cerca de 50 países, la mayoría son países en vías de desarrollo, su actividad principal es la agricultura. Cabe mencionar que el crecimiento poblacional es muy acelerado, para inicios del siglo veinte se contaba con 120 millones de habitantes, para 1950 alcanzó los 220 millones de habitantes, en 1970 alcanzó 354 millones de habitantes, de estos 108 millones vivían en las zonas urbanas. En 1980 alcanzó los 470 millones de habitantes, ya en 1983 se contaba con 500 millones de habitantes, para el año 2000 sobrepasó los 900 millones de habitantes, es decir durante el siglo veinte la población en el continente se incrementó cerca de siete veces.

Por lo anterior el mayor efecto sobre los recursos hídricos, lo ejercen las actividades agrícolas lo anterior queda claro del análisis que se realizó, tomando como inicio los principios del siglo veinte, se cultivaban cerca de 3 millones de hectáreas, localizados fundamentalmente en Egipto. Por información de la FAO en 1980 sobrepasaba los 8.4 millones de hectáreas, las principales superficies de riego se localizan en el norte y sur del continente. Cabe mencionar que en los años sesenta en África iniciaron la construcción de enormes presas de almacenamiento, sobre los ríos Nilo, Zambeze, Volta, y aquí se encuentran cinco de las presas más grandes del planeta con almacenamientos superiores a los 150 Km<sup>3</sup> y con una superficie del espejo de agua de más de 4500 Km<sup>2</sup>. El volumen total de almacenamiento en el continente africano representa un cuarto del almacenamiento de agua en el mundo. El uso del agua en África se evaluó en cinco regiones económicas norte, oriente, oeste, sur y centro.

##### **4.4.1 La transferencia de escurrimientos de agua y su problemática.**

Los principales problemas económicos en África son los siguientes:

- Mejorar los sistemas de abasto de agua a los centros de población y las zonas agrícolas, para garantizar un suministro de agua de calidad a la población la cual se ha incrementado notablemente en los últimos veinte años.
- Garantizar un suministro suficiente de agua a las zonas agrícolas principalmente las cuencas del río Nilo, Zampéese y los oasis del Sahara, así como en la zona de Sajeli, que se encuentra en el extremo sur del continente.

- Garantizar el suministro de agua a las regiones mineras, industriales (explotación petrolífera en el Sahara, explotación de diamantes en África del sur, metales preciosos, carbón de piedra y otros. Lo que estos centros de desarrollo original es el desplazamiento de gran cantidad de población y como consecuencia el crecimiento de las ciudades.

Parte de sus problemas se solventan incrementando las redes de agua entubada y canales, la creación de nuevos y modernos sistemas de tratamiento de las aguas residuales, así como la creación de sistemas hídricos industriales cerrados.

En los años sesenta y setentas en los ríos del continente, continuó la construcción de obras hidráulicas de mediana y de grandes dimensiones, para regular sus escurrimientos, proteger a los centros de población contra las inundaciones, así como suministrar agua en las zonas agrícolas durante la temporada de estiaje para todo el año.

Una de las fuentes principales de suministro de agua, la representan la gran cantidad de cuerpos de agua superficiales, largos y lagunas del centro de África, primordialmente los lagos más grandes de África, como son el lago Victoria con más de 30,000 Km<sup>3</sup> de agua, así como el lago Tanganica, Niasa entre otros. No obstante, en las condiciones de un clima tan cálido como el de África, se tienen enormes pérdidas de agua, por la evaporación en los largos y presas de almacenamiento, es una de las principales vías de pérdida de humedad.

La pérdida anual de humedad por efectos de la evaporación de la superficie de los largos de Tanganica, Niasa y Victoria representa cerca de 150 Km<sup>3</sup> anuales, en las gigantescas presas de almacenamiento adicionalmente se evaporan más de 40 Km<sup>3</sup> de agua anualmente.

Uno de los problemas más actuales en el continente africano, es él poder abastecer del vital líquido a los oasis del desierto del Sahara, así como del sur de África. Para tratar de resolver este grave problema, se han realizado importantes estudios de prospección geohidrológica en los profundos acuíferos de estas zonas, los resultados han sido muy halagadores, por haberse detectado zonas de artesianismo, la estimación del volumen de recarga que puede ser explotado, es del orden de los 4 Km<sup>3</sup> de agua al año.

En algunos países de África del norte principalmente Egipto y Libia han realizado enormes esfuerzos por establecer un uso eficiente del agua en todas sus actividades hidroeconómicas, mejorando los sistemas de suministro de los sectores usuarios, mucho interés se ha puesto en los sistemas de desalinización del agua de mar y drenes con lo cual podrán suministrar un tercio de agua que se demanda, este hecho es de suma importancia. Por lo anterior en Libia se plantea incrementar el volumen de agua desalinizada en cinco veces, en los próximos veinte años, lo cual representa un 10% del agua demandada en el futuro.

Como hemos podido observar la disponibilidad de recursos hídricos en el centro y sur del continente africano, puede de alguna manera mitigar la enorme escasez de humedad en el norte del continente, lo que abre grandes posibilidades de efectuar importantes transferencias de escurrimientos de las cuencas hidrológicas con excedentes de agua, hacia aquellas cuencas con muy bajos escurrimientos. Tal posibilidad se ha explorado, existen en la serie de proyectos de gran interés. Unos de estos proyectos contemplan la transferencia de escurrimientos de la cuenca media del río Congo, transfiriendo parte de sus aguas hacia el río Shari el cual desemboca en la laguna de Chad, para continuar a través del Sahara hacia el norte del golfo de Gabees. Se considera que esta transferencia de escurrimientos podrá generar una corriente superficial artificial con condiciones semejantes a las del río Nilo, conduciendo cerca de 60 a 100 Km<sup>3</sup> anuales. Resolviendo los problemas del agua de Chad, Nigeria, Livia, Argelia y Tunes. La relación de ese tipo de proyectos de gran envergadura, entre las naciones por donde cruzaría esta importantísima arteria fluvial, así como el poder solventar todo tipo de problemas económicos, sociales, legales y principalmente por él retraso técnico de estos países. Sin embargo, se palpa la posibilidad de tener en un futuro próximo, la posibilidad de realizar grandes proyectos de transferencia de escurrimientos, para el suministro de agua, para abastecer enormes regiones de África.

## El gran río artificial de Libia.

El gran río artificial (GMR) es una compleja red de acueductos que suministra agua desde el acuífero nubio a las zonas desérticas y la costa de Libia. Según algunas estimaciones, este es el proyecto de ingeniería más grande que existe. Este enorme sistema de tuberías y acueductos, que también incluye más de 1.300 pozos de más de 500 metros de profundidad, abastece a las ciudades de Trípoli, Bengasi, Sirte y otras, suministrando 6.500.000 m<sup>3</sup> de agua potable por día

El deseo de un monopolio mundial de los recursos hídricos ya es un factor importante en la política mundial. Y en el sur de Libia, hay cuatro depósitos de agua gigantes (oasis Kufra, Sirt, Morzuk y Hamada). Según algunos informes, contienen una media de 35.000 metros cúbicos. kilómetros (!) de agua. Para imaginar este volumen, basta con imaginar todo el territorio de Alemania como un enorme lago de 100 metros de profundidad. Indudablemente, estos recursos hídricos tienen un interés diferente. Y, quizás, es más que un interés en el petróleo libio.

Este proyecto de agua ha sido nombrado "La octava maravilla del mundo" por su escala. Proporciona un caudal diario de 6,5 millones de metros cúbicos de agua a través del desierto, lo que aumenta enormemente la superficie de regadío. 4 mil kilómetros de tuberías, enterradas profundamente en la tierra por el calor. El agua subterránea se bombea a través de 270 minas desde cientos de metros de profundidad. Un metro cúbico del agua más pura de los embalses libios, teniendo en cuenta todos los costos, puede costar 35 centavos. Este es el costo aproximado de un metro cúbico de agua fría en Moscú. Si tomamos el costo de un metro cúbico europeo (alrededor de 2 euros), entonces el valor de las reservas de agua en los embalses libios es de 58 mil millones de euros.

La idea de extraer agua escondida en las profundidades del desierto del Sahara apareció en 1983. En Libia, como su vecino egipcio, solo el 4 por ciento del territorio es apto para la vida humana, el 96 por ciento restante está dominado por arenas.

Una vez en el territorio de la actual Jamahiriya, había lechos de ríos que desembocaban en el mar Mediterráneo. Estos canales se han secado hace mucho tiempo, pero los científicos lograron establecer que a una profundidad de 500 metros bajo tierra hay enormes reservas, hasta 12 mil kilómetros cúbicos de agua dulce. Su antigüedad supera los 8,5 mil años y representa la mayor parte de todas las fuentes del país, dejando un insignificante 2,3% para el agua superficial y un poco más del 1% para el agua desalada.

El "Gran río artificial" permitirá recibir nueve metros cúbicos. El proyecto aún está lejos de completarse; en la actualidad, la segunda fase está en marcha, que prevé el tendido de la tercera y cuarta etapas de tuberías a cientos de kilómetros tierra adentro y la instalación de cientos de pozos de aguas profundas.

Se planificó un total de 1149 pozos de este tipo, incluidos más de 400 aún por construir. En los últimos años, se han tendido 1926 km de tuberías, con otros 1732 km por delante. Cada tubería de acero de 7,5 metros de largo, alcanza cuatro metros de diámetro y pesa hasta 83 toneladas, y en total hay más de 530,5 mil de este tipo de tuberías. El costo total del proyecto fue de \$ 25 mil millones de dólares. El 70%, se destina a las necesidades de la agricultura, el 28% a la población y el resto a la industria.

En los años 60 del siglo pasado, casi simultáneamente, se descubrieron grandes reservas de petróleo y agua dulce en Libia, ambas a gran profundidad. Más precisamente, bajo la arena del Sahara. Aquí se han descubierto dos enormes mares subterráneos de agua dulce pura. Uno se extiende bajo los territorios de Libia, Egipto, Sudán y Chad (es esta cuenca con un volumen de dos tercios del Mar Negro que se utiliza actualmente), el otro - bajo los territorios de Libia, Túnez y Argelia (la explotación de estas reservas en el proyecto).

El agua se acumuló bajo tierra hace 10 mil años, cuando las fértiles sabanas, se extendían en el sitio del Sahara, regadas por lluvias frecuentes y habitadas por elefantes y jirafas. Luego, hace unos tres mil años, el clima del planeta cambió drásticamente: el Sahara se convirtió en un desierto. Pero el agua que se ha filtrado al suelo durante miles de años ha logrado acumularse en los horizontes subterráneos





En 1953, mientras buscaban nuevos campos petroleros en el sur de Libia, los geólogos descubrieron gigantescas reservas de agua dulce en el desierto, escondidas en las profundidades de la tierra. En total, se han descubierto cuatro enormes cuencas con volúmenes que van desde los 4,800 a los 20,000 kilómetros cúbicos de agua dulce. La mayor parte de esta agua se acumuló hace 38,000-14,000 años, antes del final de la última glaciación, cuando esta región del Sahara tenía un clima templado



La longitud total de las comunicaciones subterráneas del río artificial se acerca a los cuatro mil kilómetros. El volumen de tierra removida y arrojada durante la construcción - 155 millones de metros cúbicos - es 12 veces más que durante la creación de la presa de Asuán, y los materiales de construcción gastados serían suficientes para la construcción de 16 pirámides de Keops.

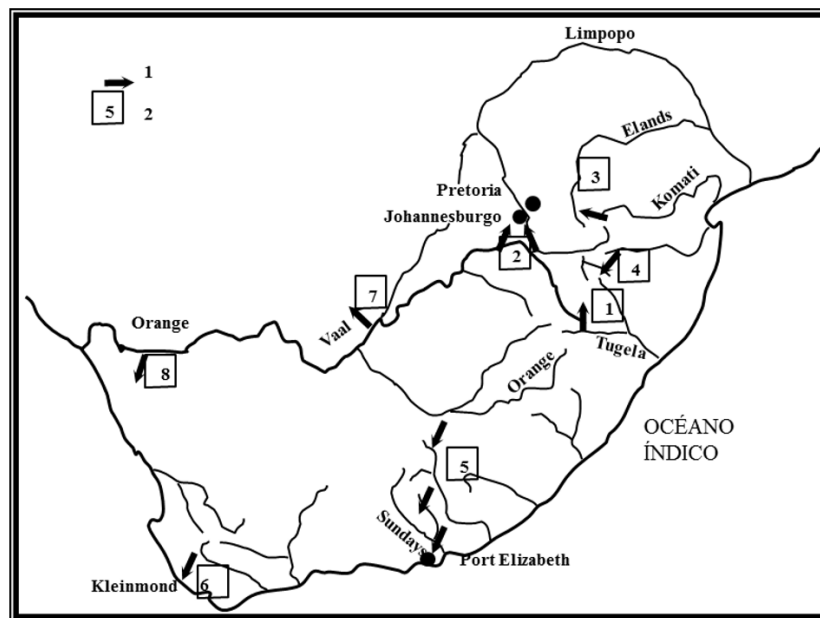
Además de tuberías y acueductos, el sistema incluye más de 1,300 pozos, la mayoría de los cuales tienen más de 500 metros de profundidad. La profundidad total de los pozos es 70 veces la altura del Monte Everest.

Los ramales principales del sistema de abastecimiento de agua consisten en tuberías de hormigón de 7,5 metros de largo, 4 metros de diámetro y con un peso de más de 80 toneladas (hasta 83 toneladas). Y cada una de las más de 530 mil de estas tuberías podría servir fácilmente como túnel para trenes subterráneos.

Desde las tuberías principales, el agua ingresa a los reservorios construidos cerca de las ciudades con un volumen de 4 a 24 millones de metros cúbicos, y desde ellos comienzan los sistemas locales de suministro de agua de ciudades y pueblos. El agua dulce ingresa al acueducto desde fuentes subterráneas ubicadas en el sur del país y alimenta a los asentamientos concentrados principalmente en las costas del mar Mediterráneo, incluidas las ciudades más grandes de Libia: Trípoli, Bengasi, Sirte. El agua se extrae del acuífero nubio, la mayor fuente conocida de agua dulce fósil en el mundo. El acuífero nubio está ubicado en el desierto del Sahara oriental en un área de más de dos millones de kilómetros cuadrados e incluye 11 grandes depósitos subterráneos. El territorio de Libia se encuentra por encima de cuatro de ellos. Además de Libia, hay varios otros estados africanos en la capa de Nubia, incluido el noroeste de Sudán, el noreste de Chad y la mayor parte de Egipto.

El acuífero de Nubia fue descubierto en 1953 por geólogos británicos mientras buscaban campos petrolíferos. El agua dulce que contiene está oculta bajo una capa de arenisca ferruginosa dura con un espesor de 100 a 500 metros y, como han establecido los científicos, se acumula bajo tierra en un momento en que las sabanas fértiles, irrigadas por frecuentes lluvias intensas, se extendían en el sitio del Sahara. La mayor parte de esta agua se acumuló en el período de hace 38 a 14 mil años, aunque algunos reservorios se formaron relativamente recientemente, alrededor de cinco mil años antes de Cristo. Cuando el clima del planeta cambió drásticamente hace tres mil años, el Sahara se convirtió en un desierto, pero el agua que se había filtrado en la tierra durante miles de años ya se había acumulado en los horizontes subterráneos.

En la actualidad en África se elaboran y se ejecutan grandes transferencias de escurrimientos de agua. En Sudáfrica, es uno de los países más desarrollados técnica y económicamente de este continente. (Ver gráfica número 4. 13), en la cuenca del río Nilo, así como en algunas otras regiones.



1.- Dirección de los escurrimientos, 2.- Proyectos según cuadro 4.15.

Fig. No. 4.13 Esquema de transferencias de agua en Sudáfrica.

Los recursos hídricos de Sudáfrica, se estiman en 32 a 34 Km<sup>3</sup>/ anuales de agua. En 1976 el uso de agua alcanzó los 11.6 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, para el año 2000, se pronosticó incrementar la transferencia de agua hasta 28 o 32 Km<sup>3</sup>/anuales de agua [208], es decir hasta el límite de lo posible. Los problemas más difíciles de resolver, son el suministro de agua a la zona industrial, de la zona montañosa de transferencia, es donde se ubica la región minera, así como los centros de población más grandes tales como Johannesburgo, Pretoria y Vereeniging. También fuertes déficit de agua se tienen en el occidente de la provincia de Capski, en forma particular en la región de la ciudad de Queiptaun.

El problema principal es el déficit de agua en la ciudad de Queiptaun, donde se pretende solucionar en base a las aguas salobres existentes en la región. No obstante, por el alto costo de desalinización, relegan su aplicación. Otra solución intermedia que permite solucionar las necesidades de agua de los centros de población, conforme van creciendo estas, son la construcción de varios sistemas hidroeconómico de pequeñas dimensiones, a los cuales hay que suministrar agua proveniente de las corrientes montañosas cercanas. El último sistema construido data de 1982. Por opinión de los especialistas, este es uno de los sistemas hídricos más complejos de los años ochenta, con el cual puede suministrarse el agua de las cuencas altas de los ríos Riverbanderend y Vel, para las ciudades que se ubican a unos 35 kilómetros de distancia, conduciendo el agua a través de un túnel, un canal y un acueducto con una longitud total de 100 Km. El volumen de agua transferido, es de 0.1 Km<sup>3</sup> de agua anuales, sin embargo, esa transferencia de agua, permitirá incrementar el volumen total de agua que se suministran a los centros de población alcanzando un total de 0. 27 Km<sup>3</sup> de agua anuales y resolver el problema de déficit de agua parcialmente.

Para mejorar el abasto de agua a los centros de población de Pretoria -Johannesburgo, Feriningin, se transfieren parte de los escurrimientos del río Tugel (cuenca del océano indicó), tras él río Vaal afluente del río Orange o Anaranjado. El suministro de agua se efectúa desde unas plantas de bombeo ubicadas en las presas de almacenamiento conduciendo el agua por medio de canales y túneles. Esta cantidad de agua transferidas al río Vaal, permiten incrementar el volumen de captación para el suministro de agua a las regiones de Pretoria-Johannesburgo- Vereeniging, para una población total de 5 millones de habitantes, el volumen de agua de 1.9 Km<sup>3</sup>/anuales.

Con objeto de mejorar el suministro de agua a la cuenca de donde se extrae el carbón, ubicada al este del Transval, se efectuó una transferencia de agua parcial, de los escurrimientos provenientes de los ríos Cota y Usut (a la cuenca del Océano Índico), hacia los ríos Ulifontenssfir y Vaal un volumen de 0. 23 Km<sup>3</sup> /anuales de agua. Esta transferencia toca de alguna manera los intereses de Svizilend y Mozambique, dentro de los cuales se encuentran los escurrimientos de la cuenca baja del río Camal y Usug.

Transferencia parcial de los escurrimientos del río Anaranjado por un volumen de 0. 85 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, hacia él río Fish y el río Sandis, los cuales están destinados para mejorar las fértiles tierras de riego en las cuencas de estos ríos, y con el fin de incrementar la productividad de los cítricos, así como el suministro de agua a la región de puerto Elizabeth. Que se incluye dentro de las medidas tomadas y ejecutadas en 1972, parte del programa de uso, manejo y aprovechamiento del principal río de Sudáfrica, como el río Orange. La transferencia de agua del río Orange hacia el río Fish, se realizó a través de un túnel de 82 Km. de longitud y un diámetro de 5.4 m.

De tal manera en la actualidad Sudáfrica realiza la transferencia de 3 a 4 Km<sup>3</sup> /anuales de agua, lo que representa de un 10 a un 12% del total de los escurrimientos de ese país. La elaboración de varios proyectos presenta buenas perspectivas para continuar con la redistribución territorial de los escurrimientos.

#### **4.5 Australia y Oceanía**

Australia por su superficie y población es el continente más pequeño, con 7.7 millones de Km<sup>2</sup> y 15.1 millones de habitantes, el 98% de su población vive en las zonas urbanas. Los recursos hídricos representan 301 Km<sup>3</sup> /anuales. El suministro de agua por cada habitante es de 54 m<sup>3</sup> /día, es decir dos veces más que el promedio a nivel mundial, al mismo tiempo el escurrimiento

específico, es muy pequeño 1.4 litros por segundo por cada Km<sup>2</sup> en todo el continente, a excepción de una pequeña franja costera del este y noroeste y en el extremo norte, se encuentran bajo condiciones de baja humedad de hasta 2000 mm. en las regiones centrales, un déficit natural de recursos hídricos se puede apreciar en la gráfica 5.20., donde cerca de un 75% de la superficie de Australia, es ocupada por desiertos áridos y semiáridos. El gran desierto de arena denominado desierto de Simpson y el gran desierto de Victoria.

En los límites de Australia, se encuentra únicamente una gran cuenca hidrológica, esta es la del río Murray, conjuntamente con sus afluentes del río Darling, éste se forma en las montañas del este del parteaguas de la zona montañosa, donde se pierde cerca de un 50% de sus escurrimientos de agua, es decir de 12. 8 a 22.3 Km<sup>3</sup> /anuales de agua, estas pérdidas se producen en los sistemas de riego, debido a la infiltración en los depósitos aluviales. A pesar de que son ríos pequeños cuentan con un alto coeficiente de escurrimiento los ríos como el Verbequin, Fitzroy, Jernberg, Clorens y Snoui, los cuales escurren a partir de la gran zona montañosa dirigiéndose hacia el Océano Pacífico. Gran cantidad de ríos del sureste de la zona costera contienen vastas cantidades de minerales. Los recursos hídricos interiores del continente ocupan el 50% de la superficie de Australia y representa únicamente el 3 % del total de los recursos hídricos superficiales. Las corrientes superficiales tienen un comportamiento muy errático y eventual, cabe mencionar que aquí se encuentran los cuerpos de agua superficiales más grandes de Australia como son el lago Eyre, que durante la época de estiajes severos prácticamente se seca en su totalidad.

En las regiones áridas del continente, se cubre parcialmente la demanda de agua para uso humano, debido a que se extrae agua del subsuelo. En el territorio australiano se cuenta con aguas artesianas, también se localizan en una de las cuencas con artesianismo más grandes del mundo. Una de las formas a través de las cuales, se recargan los acuíferos, es por las grandes inundaciones de sus pastizales. Las aguas artesianas no son utilizadas activamente en la agricultura, debido principalmente a su alta mineralización. Como en muchas otras partes del mundo la explotación de las aguas subterráneas, se efectúa a grandes profundidades causando con esto la migración de agua salobre hacia la parte continental en las zonas costeras, por lo que en estas zonas costeras las extracciones se limitan a pequeños gastos.

Para garantizar las cosechas en la mayoría de las regiones de Australia, estas se logran en las tierras que tienen sistemas de riego. El desarrollo hidroagrícola y pecuario está limitado por la disponibilidad de agua. Por información de la FAO en 1980 en Australia la superficie bajo riego era de cerca de 1. 7 millones de hectáreas, cabe señalar que las superficies con vocación para la agricultura, se encuentran en la cuenca hidrológica del río Murray, donde cómo se sabe, se genera el 70% de la producción de arroz, uva y cítricos del continente australiano.

En el norte y en el sur de Australia hasta el Océano Pacífico, se encuentra una gran cantidad de islas denominadas Oceanía. La superficie de estas islas representa cerca de 1. 3 millones de Km<sup>2</sup>, cabe mencionar que el 83% de esta tierra, se encuentra en tres principales islas como son Nueva Guinea, las islas del norte y sur de Nueva Zelanda. La diferencia con Australia es que las islas del océano tienen suficiente o demasiado humedad, alcanzando en algunas zonas los 2000 y 3000 mm. El escurrimiento total en Oceanía rebasa los 2000 Km<sup>3</sup> /anuales de agua. Para una población de más de 8 millones de habitantes, los cuales por información de la FAO un 79% vive en zonas urbanas.

La dinámica del uso del agua, fue evaluada por los científicos rusos en forma separada, para Australia y las islas de Oceanía, la principal información de estas regiones durante 1900 al año 2000, se encuentran en el **Tabla No.4.15**. El uso del agua en Australia está calculado en base a la evaluación y pronósticos realizados en diversas épocas publicados en diversos países del mundo.

**Tabla No.4.15 Dinámica de los usos del agua en Australia y Oceanía para el período de 1900 a 2000, respecto a los tipos de actividades económicas dados en Km<sup>3</sup>/año.**

Tipo de Usuario	Año									
	1900	1940	1950	1960	1970	1975	1980	1990	2000	
Agrícola	0.46	3.5	5.2	9.4	12.5	12.7	13.0	15.2	19.3	
	0.35	2.8	4.1	7.5	9.9	10.2	10.4	12.1	15.3	
Superficie bajo riego 10 <sup>3</sup> ha.	50	430	660	1200	1580	1630	1670	2220	3260	
Industrial	1.0	3.0	4.1	6.2	8.3	9.4	10.5	15.0	17.5	
	0.2	0.45	0.50	0.64	0.69	0.78	0.78	1.12	1.12	
Agua Potable	0.14	0.33	0.75	1.01	1.5	2.1	2.8	3.7	5.0	
	0.03	0.08	0.16	0.21	0.25	0.33	0.38	0.46	0.50	
Almacenamiento	0	0	0.34	0.70	1.0	2.5	3.1	3.7	5.0	
	0	0	0.34	0.70	1.0	2.5	3.1	3.7	5.0	
Total	1.6	6.8	10.3	17.4	23.3	26.8	29.4	37.6	46.8	
	0.6	3.4	5.1	9.0	11.9	13.8	14.6	17.4	22.0	

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO.

El volumen de agua utilizada para Oceanía fue obtenido, a través de cálculos numéricos publicados en diversos documentos. Los indicadores nos muestran el desarrollo de las actividades hidroeconómicas. La superficie de riego para Australia y Oceanía fue obtenida por información de la FAO. Los valores promedio del uso del agua en el riego para Australia representa de 8000 a 6000 m<sup>3</sup> por hectárea, para Oceanía de 5000 a 4000 m<sup>3</sup> por hectárea, por aguas de retorno se tiene un 20%.

El uso del agua en Australia para 1980 representaba 27 Km<sup>3</sup> /anuales de agua, y al final del año 2000 para Australia se incrementó considerablemente hasta 42.3 Km<sup>3</sup> /anuales de agua. En Oceanía el uso del agua en la actualidad y en el futuro es bajo de 2. 4 a 4. 5 respectivamente. En el Tabla 4. 15 se muestra que durante el período de este siglo la dinámica del uso del agua de algunos usuarios para Australia y Oceanía, el principal usuario es el sector agrícola y el industrial, ellos manejan un 83% del total y un 77% de las aguas de retorno. Las pérdidas de agua por evaporación en las presas de almacenamiento, juega un importante papel en los usos del agua principalmente sin retorno en Australia. En la actualidad y a futuro el volumen de agua por usos representa un 9 % del escurrimiento anual de los ríos, en Oceanía únicamente un 0. 11%, para el año 2000 estos indicadores fueron los siguientes 0. 14 a 0. 22%. En Oceanía es una de las regiones del planeta donde muy poco volumen de agua superficial se utiliza.

La dinámica del suministro de agua específica por unidad de superficie y por habitante, para el período de 1950 a 2000 para Australia y Oceanía, representa un alto suministro de agua en Oceanía por unidad de superficie por habitante es la más alta del mundo y varía muy poco en el tiempo.

Australia cuenta con una baja densidad de población, el suministro de agua por cada habitante es muy alto en promedio de tres a cuatro veces más que en Europa y Asia.

Comparemos el uso del agua en Australia y Oceanía, hecho por diversos investigadores. El Instituto de hidrología de San Petersburgo en Rusia, evaluó que para 1974 el uso de agua en general sería de 30 Km<sup>3</sup>/anuales de agua y para el año 2000 alcanzo 60 Km<sup>3</sup>/anuales de agua. Los hidrólogos de los Estados Unidos de Norteamérica en 1980 evaluaron el volumen de agua para todos los usos, el cual correspondería para 1977 un volumen de 29 Km<sup>3</sup>, de los cuales 25 Km<sup>3</sup> corresponden a Australia y 4 Km<sup>3</sup> para Oceanía, lo cual resulta muy semejante a los resultados obtenidos por los hidrólogos rusos.

Los pronósticos para el año 2000, se encuentran en los siguientes rangos de 33 a 46 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, donde el primer valor considera una regeneración y el segundo valor no, es decir la recuperación de aguas industriales, cabe mencionar que existen otras evaluaciones con resultados

mucho muy altos, que para nada corresponden a las tendencias actuales de los usos del agua en Australia y Nueva Zelanda.

#### **4.5.1 Transferencia de escurrimientos en Australia y Oceanía.**

Debido a que los excedentes de agua en Oceanía son muy altos y la demanda para una pequeña población, son insignificantes, su influencia sobre los recursos hídricos no es significativa tanto cualitativa como cuantitativamente, por tanto, los problemas del agua en estas regiones no son tan agudas, no requiriendo la transferencia de escurrimientos en Oceanía, como en muchas otras partes del mundo. Otra situación muy distinta, se presenta en Australia, debido a la distribución espacial y territorial tan desigual de los recursos hídricos, y debido a las situaciones climáticas, cada año es diferente a los demás, y gran parte de sus escurrimientos no pueden ser incorporados para cubrir las demandas de agua en los sectores usuarios, donde es cada vez mayor la demanda por lo anterior se entiende la inquietud por tratar los problemas del agua en Australia, donde sí se efectúan transferencias de agua de los corrientes superficiales existentes, con objeto de poder realizar una redistribución de los escurrimientos, así como de su regulación.

Cabe señalar que en Australia se han realizado una gran cantidad de proyectos para la transferencia de escurrimientos, la regulación y redistribución de estos, principalmente de los ríos de la región del noreste, y poder utilizar más recientemente el agua en los sistemas hidroagrícolas existentes y futuros, la transferencia parcial de los escurrimientos de los ríos del noroeste del continente, como son el río Thali, Gilbert y Burdekin, pasarán sus aguas a las cuencas del río Timbers y Tomson que se localizan en las regiones áridas del suroeste. Cabe mencionar que también se cuenta con el proyecto para construir un almacenamiento permanente en la depresión denominada lago Eir, gracias a la transferencia de escurrimientos hacia este lago, se podrá redistribuir hacia las zonas agrícolas y centros de población.

El complejo hidroeléctrico más grande de Australia se localiza en la región montañosa de la cuenca del río Snowy, el cual regula los escurrimientos conjuntamente con el río Murray, este sistema se denomina "Montañas de Nieve". La decisión para construir este complejo hidroeléctrico estuvo a cargo del gobierno de Australia en 1949. Debido el interés de desarrollar la economía después de la Segunda Guerra Mundial y fundamentalmente por las grandes sequías ocurridas de 1936 a 1946, la construcción de este sistema hidroeléctrico duró 25 años, de 1949 a 1974 y su costo alcanzó la cifra de los 900 millones de dólares. Este sistema hidroeléctrico, es de usos múltiples, los principales objetivos son los siguientes: cubrir las demandas de energía eléctrica durante las horas pico, así como transferir las aguas de hidrogenación a la cuenca del río Murray, así como sus afluentes como son el río Murrumbidgee para poder incrementar la superficie bajo riego.

Este sistema hidroenergético está compuesto por 16 grandes presas de almacenamiento, con siete plantas hidroeléctricas, cinco de las presas de almacenamiento alcanzan los 8 Km<sup>3</sup> de agua, con dos plantas de bombeo enviando el agua a más de 80 Km. a través de una tubería a presión, así como 140 Km. de túneles y cientos de kilómetros de líneas de alta tensión, para la interconexión de estas hidroeléctricas con el sistema magistral energético entre los estados, ha permitido obtener una capacidad instalada de energía hidroeléctrica de 370 Mw, con una producción media anual de generación de energía eléctrica de 540 millones de Kbt. hora.

Antes de efectuar la construcción del sistema hidroenergético, se efectuaron minuciosos análisis y cálculos hidrológicos para entender el régimen de comportamiento de los escurrimientos en los ríos Snowy, Murray y Murrumbidgee, que les permitiera gracias al profundo análisis, efectuar una regulación multianual de los escurrimientos del río Snouy, pudiendo transferir un importante volumen de agua para ser incorporada a la cuenca del río Murray, este volumen es de 2.4 Km<sup>3</sup> /anuales de agua.

El sistema de las "Montañas nevadas", está compuesto por dos subsistemas Snouy-Tiunit y Snouy-Murray (ver gráfica No. 4.14). El primer subsistema transfiere 1.39 Km<sup>3</sup>/anuales de agua al río Murrumbidgee, el segundo transfiere 0.99 Km<sup>3</sup> /anuales de agua, hacia aguas arriba de la cuenca alta del río Murray. De lo anterior se deduce que la transferencia real de escurrimientos del río Snouy, representa 1.14 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, el restante 1.26 Km<sup>3</sup>/anuales de agua se derivan hacia la cuenca alta del río Murrumbidgee y su afluente del río Murray - Dzhiji, así como un volumen adicional para la regulación multianual de los escurrimientos.

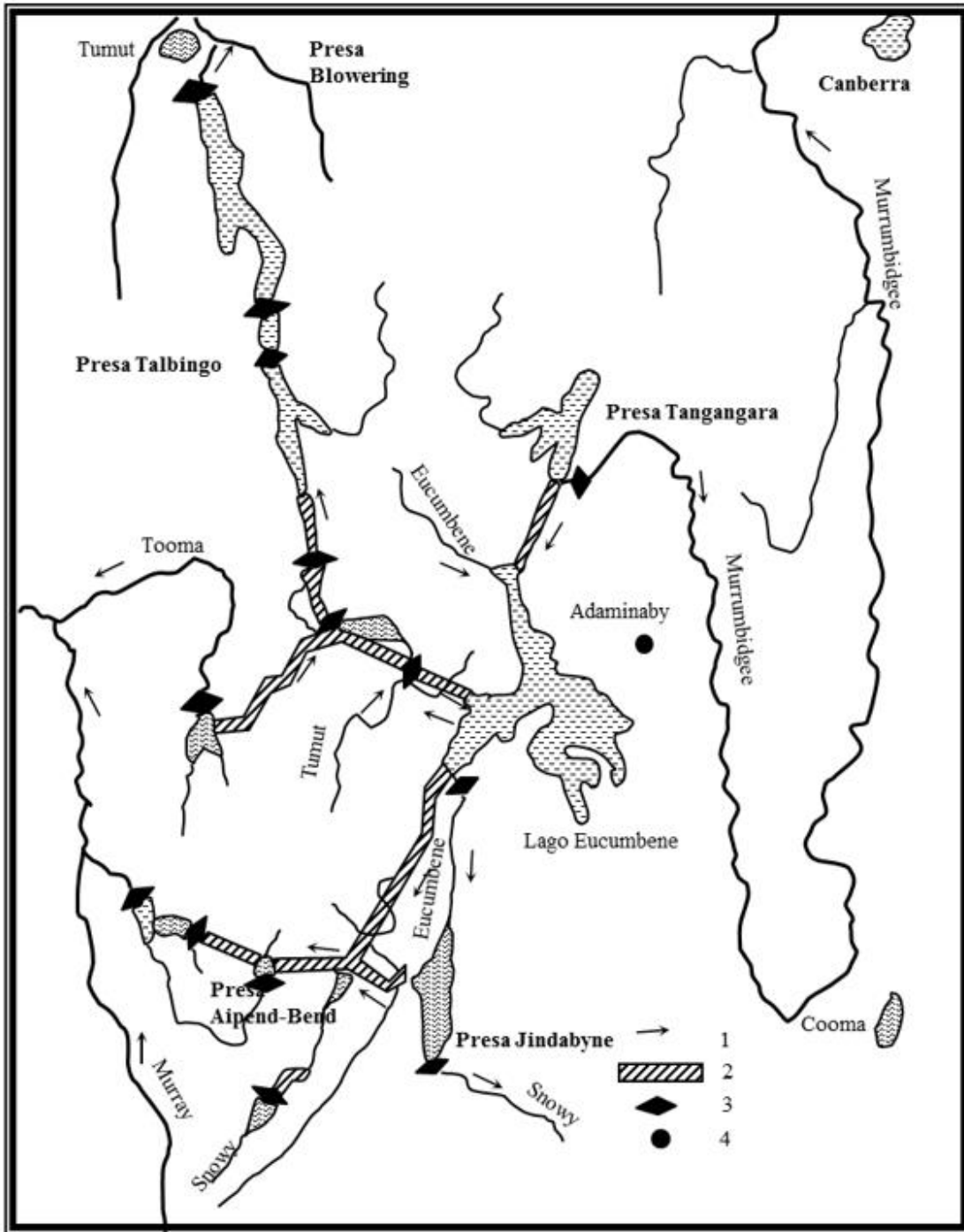
La principal infraestructura del sistema hidroenergético, es la presa de almacenamiento "Yucumbin" que se localiza en el afluente de la margen derecha del río Snouy. Este embalse acumula los escurrimientos aguas arriba del río Yucumbin, que recibe adicionalmente y los redistribuye temporalmente a la parte alta del río Murrumbidgee (regulado por el embalse Tangangara) y aguas arriba del río Snouy (regulado por el embalse Alend-Bend y Yindabini).

En el primer subsistema Snouy-Tiunit, el agua de la presa Yucumbin, se transfiere a través de un túnel que atraviesa una gran montaña, incorporando el agua al cauce del río Tiunit, posteriormente atraviesa el segundo túnel por medio de la hidroeléctrica y el embalse, para nuevamente incorporarse al río Tiunit y desembocar al río Murrumbidgee, después de haber recorrido más de 300 kilómetros, aguas abajo de la presa de almacenamiento Tantangará. Adicionalmente en el subsistema Snouy-Timin, se transfiere los escurrimientos del río Tuma, que son regulados sus escurrimientos por la presa Tuma.

El subsistema Snouy-Murray realiza la transferencia de los escurrimientos del río Snouy, la regulación, se efectúa en el embalse Agun-Bend atravesando la gran zona montañosa, pasan los escurrimientos por un túnel de 15 kilómetros de longitud el cual se comunica a la presa de almacenamiento de Dzhiji en el afluente del río Murray para continuar a través de túneles hacia la presa de almacenamiento Joncoba, pasando el cauce del río Dzhiji y Murray.

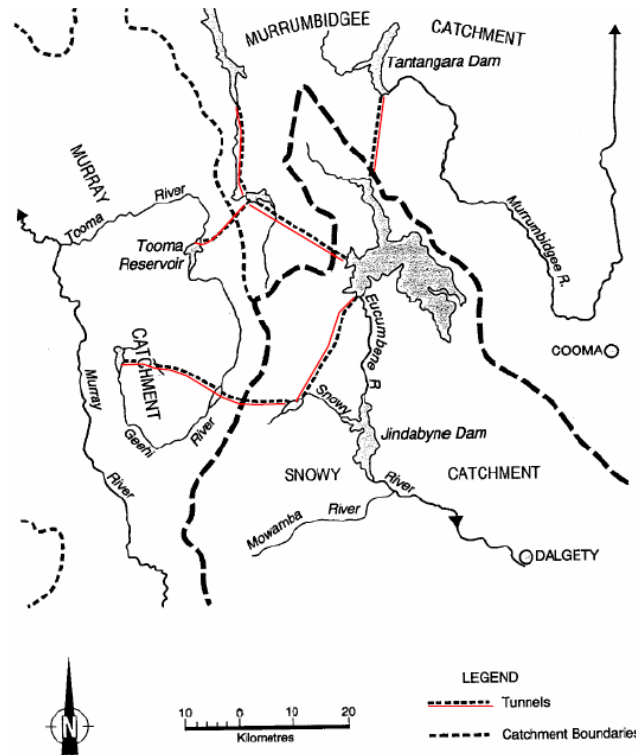
Adicionalmente a este complejo sistema hidráulico, se tienen también hidroeléctricas y túneles entre las presas de almacenamiento Yucumbin y Alend-Bend, que permiten efectuar una redistribución de los escurrimientos entre los dos embalses del subsistema. El sistema hidráulico de las Montañas de Nieve, desde 1974 opera exitosamente, durante este período transcurrido, se ha amortizado por completo las inversiones, erogadas durante su construcción, generando cuantiosas ganancias por la generación de energía eléctrica, el suministro de agua a los sistemas hidroagrícolas Murray y Marrambidzhi prácticamente sin ningún costo. El agua adicional que se incorpora al río Marrambidzhi y Murray, permite incrementar el suministro de agua a las regiones que se encuentran en las inmediaciones hasta por un 60 a un 100%.

En la actualidad se efectúa otra transferencia de escurrimientos de agua, a través de la zona montañosa de la cuenca del río Yarra, aguas arriba del río Thomson.



Esquema de transferencia de escurrimientos de agua conforme al Proyecto "Montañas Nevadas".  
 1.- Dirección de la transferencia de agua, 2.- Túneles, 3.- Presas y 4.- Plantas de Bombeo.





Fuente: Pigram (2000: 366).

**Fig. No. 4.14 Transferencias de agua en Australia. Principales infraestructuras del *Snowy River Scheme*.**

Los beneficios de las transferencias, tanto desde el punto de vista económico como desde otros puntos de vista, han sido notables. En términos energéticos, el trasvase ha generado de media unos 5.100 GWh anuales de electricidad, cuyo valor, a los precios actuales, es de unos 350 millones de dólares estadounidenses y que representan el 16% de la energía producida en el sureste de Australia (Wright, 1999: 103) y un 70% de la energía renovable del 115 este del país (Snowy Hydro, 2006), evitando la emisión de unos cinco millones de toneladas de CO2 anuales (Wright, 1999: 103). Por otra parte, las aguas transferidas a la cuenca del Murray-Darling han permitido el cultivo de productos agrícolas por un valor de 5,000 millones de dólares anuales.

Entre los beneficios no cuantificables se podrían incluir la mejora en la seguridad y la fiabilidad del suministro de agua para todos los usos (urbano, agrario, industrial, recreativo, ambiental, etc.) en la cuenca del Murray-Darling, así como la mejora del capital humano australiano por el influjo del personal técnico con alta cualificación traído del extranjero para colaborar en la construcción del trasvase (Wright, 1999: 103).

Sin embargo, todos estos beneficios, cuantificables o no, objetivos o subjetivos, se han conseguido a costa de una serie de importantes efectos, tanto en la cuenca cedente como en la receptora (Snaddon, Davies y Wishart, 1999: 62).

En la cuenca cedente, la cantidad de agua trasvasada de la cabecera, un 99% del caudal en el punto de captación (Snaddon, Davies y Wishart, 1999: 63), afecta de forma fundamental a las características hidrológicas del río, así como a sus ecosistemas. Entre otros efectos ambientales, se podrían enumerar la colmatación del canal del río (Wright, 1999: 103), una mayor concentración de materia orgánica, la proliferación de algas, el avance de la cuña salina (Pigram, 2000: 366) o la erosión de la desembocadura del río por falta de sedimentos (Snaddon, Davies y Wishart, 1999: 87). También se han visto afectados por el trasvase los valores estéticos, recreativos y turísticos

del río (Pigram, 2000: 367), así como el patrimonio cultural de los pueblos aborígenes que residían en la zona (Wright, 1999: 103).

En la cuenca receptora los efectos del trasvase han sido menos drásticos y están relacionados, la mayor parte de las veces, con la conversión de los tramos de alta montaña de la cabecera del río que reciben las aguas transferidas en meros canales de riego (Snaddon, Davies y Wishart, 1999: 62), afectando de forma importante a la fauna, a la vegetación riparia y a los humedales (Wright, 1999: 104).

## **5. La influencia en el medio ambiente por la transferencia de escurrimientos de agua de grandes dimensiones.**

### **5.1 El rol y nivel de la evaluación de los pronósticos ecológicos, debido a los problemas que surgen por la redistribución territorial de los escurrimientos.**

Los cuestionamientos sobre la influencia en el medio ambiente con la transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones, es decir sobre el régimen hidrológico de los ríos, lagos y mares, la calidad del agua superficial y subterránea, el clima y el paisaje, la biótica acuática y atmosférica. Finalmente, el medio ambiente donde vive el ser humano, es el problema central de la transferencia de escurrimientos debido a su redistribución. Precisamente estos cuestionamientos determinan en la actualidad el nivel de complejidad de los problemas por la transferencia de los escurrimientos de agua en su conjunto, asimismo la posibilidad de realizar la transferencia de los escurrimientos.

El valor de las evaluaciones y los pronósticos ecológicos, ha crecido enormemente en la medida, en que se incrementan las dimensiones de las transferencias de agua, asimismo un crecimiento de los efectos antropogénicos generalizado sobre el medio ambiente.

*No hace mucho en la primera mitad del siglo veinte, cuando los cuestionamientos sobre la protección del medio ambiente y primordialmente de las reservas de agua limpia, no estaban en la mesa de discusión tan frecuentemente como en la actualidad, el tener que decidir el adoptar algún tipo de infraestructura hidráulica, se determinaba principalmente por las soluciones técnicas y factibilidad socioeconómica.* El pronóstico de la influencia de las obras hidráulicas sobre el medio ambiente, anteriormente no tenía un efecto decisivo en pequeños proyectos.

En los últimos 25 años de 1951 a 1985 la población en nuestro planeta, se incrementó al doble, es decir de 2. 5 a 4. 8 billones de habitantes. Consecuentemente la demanda de agua se incrementó exponencialmente. Para poder satisfacer esta creciente demanda, se han construido grandes sistemas hidroagrícolas y obras hidráulicas que permitan la regulación de los escurrimientos y la transferencia de grandes volúmenes de agua. Con el tiempo se ha adquirido experiencias importantes, así como malos resultados, en cuanto a la construcción y operación de presas de almacenamiento, grandes canales para transferir escurrimientos, para el riego de tierras, que provocan el cambio de los ríos y cuerpos de agua superficiales, tanto en su cantidad como en su calidad, provocando también encharcamientos de agua, mineralización de los suelos, generan climas áridos, la transmisión de diversas enfermedades y muchas otras consecuencias negativas.

Considerando lo anterior en los años sesenta y setenta, en muchos países del mundo, se tomaron medidas para proteger las aguas y el aprovechamiento ordenado y eficiente, el cual requiere de pronósticos de las condiciones que se presentarán en los recursos hídricos, así como los efectos sobre el medio ambiente y los sistemas ecológicos de todos los grandes proyectos hidroeconómicos que realiza el hombre. Podemos mencionar que en los Estados Unidos en 1969, se promulgó la ley sobre la política nacional en el ámbito de la protección del medio ambiente "National Environmental Policy Act-NEPA", encaminado a observar la protección ambiental como interés del país a todos los niveles de planeación y actividades económicas.

De acuerdo a esta ley, todas las grandes obras son capaces de causar efectos sobre el medio ambiente, por lo que deberá soportarse cada obra con una manifestación de impacto ambiental, de los posibles efectos sobre el medio ambiente, el cual deberá incluir:

Las características del proyecto, las condiciones de la naturaleza donde se desarrollarán las obras.

- Evaluación de los posibles efectos tanto positivos como negativos por las obras, sobre el medio ambiente, incluyendo el pronóstico a largo plazo.
- Análisis y sobreposición de las diversas alternativas del proyecto
- Identificación de las posibles pérdidas de recursos naturales, que no se pueden recuperar
- Evaluación de los daños y de las posibles implicaciones y compensaciones.

El procedimiento para preparar la manifestación de impacto ambiental, deberá estar soportada por la consulta de diversas dependencias de los tres niveles de gobierno, así como organizaciones ambientalistas dedicados a la protección del medio ambiente. Las agencias dedicadas a la protección del medio ambiente, así como los consejos sobre la calidad del medio ambiente, la sociedad en su conjunto y la iniciativa privada. La preparación detallada de los informes sobre las medidas de protección ambiental adoptadas. Después de haber sido elaboradas por expertos la manifestación de impacto ambiental y avalado por el área competente, como en nuestro caso la SEMARNAT, asimismo deberá ser aprobada por el congreso para su ejecución. Cabe hacer mención que en todos los casos cuando se trate de grandes obras, cuando se involucre a más de dos estados, regiones hidrológicas, deberá requerirse una aprobación de la comisión de los recursos hídricos, de la Cámara de Diputados, además de los consejos de cuenca correspondiente.

Este proceso para autorizar los proyectos deberá garantizar la ejecución de las medidas ecológicas emitidas, desde el inicio del diseño de las obras, lo cual permitirá determinar y fundamentar la alternativa más óptima.

Para dar cumplimiento a las leyes vigentes de ordenamiento y protección ambiental en México, como en muchos otros países, deberá determinarse la necesidad de proteger el medio ambiente, cuando se planifican actividades hidroeconómicas, denominadas estándar y reglas, al respecto la importancia de las evaluaciones ecológicas alcanza un alto nivel, para poder justificar la efectividad económica de una obra. Las leyes plasmadas en la "NEPA", en cierta medida dan un orden a la evaluación ecológica y los dictámenes de los expertos en cuanto a aspectos ecológicos, en la rama de proyectos hidroeconómicos, así como el estimular la investigación en esta importante área, no obstante cabe mencionar que en las investigaciones realizadas en la Universidad de Stanford, sobre la influencia de las leyes ambientales en la política nacional, en cuanto a la protección del medio ambiente, demostró que en la práctica los proyectos económicos para su ejecución y/o análisis de alternativas, están enfocados hacia las consecuencias ecológicas de estos proyectos y las posibles medidas de mitigación a adoptar.

En Canadá gran importancia se les da a los pronósticos sobre los cambios ambientales, debido a que en ese país se efectúan proyectos de grandes transferencias de escurrimientos de agua, entre las cuencas hidrológicas, durante el período de 1970 a 1980, para redistribuir enormes volúmenes de agua, hasta 25 Km<sup>3</sup> /anuales, tal es el proyecto denominado "Churchill y Yeims - Bei". Por otro lado, cabe mencionar que también se ha incrementado el interés sobre las evaluaciones ecológicas y su pronóstico a largo plazo, lo cual dio como resultado la creación de la Ley sobre la protección del medio ambiente. Cabe mencionar que en 1970, se aprobó la ley sobre las aguas nacionales en Canadá, la cual continuamente se revisa, se analiza e investigan los efectos por las acciones humanas en el medio ambiente, al construirse sistemas hidroeconómicos y transferencia de escurrimientos. En 1973 el gabinete de ministros de Canadá aprobó el decreto sobre la forma de evaluar el medio ambiente, de tal manera que se consideren todos los procesos en sus primeras etapas del diseño y su participación dentro de los proyectos, que pueden representar riesgos ambientales, condiciones emitidas por el ministerio del medio ambiente. Este ministerio actualmente presta mucha atención, principalmente a los proyectos de transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas, que se pretende llevar al cabo en Canadá. Desde 1980 se realizan trabajos de inventario y aprobación de todos los sistemas de transferencia de escurrimientos que se pretende realizar.

Tanto en Canadá como en los Estados Unidos, se consideran los procedimientos de preparación para los grandes proyectos hidroeconómicos "Manifestación de impacto ambiental, su carácter y efectos sobre el medio ambiente. Tal procedimiento debería de adoptarse también en México. Para analizar las manifestaciones de impacto ambiental", el grupo de trabajo que evalúa los aspectos ecológicos de cualquier proyecto, tiene la facultad de detener su realización, así como implementar investigaciones con expertos, fundamentalmente para efectuar una serie de monitoreos, y obtener información necesaria ecológica, que nos permita precisar los efectos ecológicos en el medio ambiente, de efectuarse algún proyecto. Actualmente los especialistas canadienses han alcanzado un alto nivel de conocimiento y práctica de campo, en cuanto a la transferencia de escurrimientos de agua y sistemas hidroeconómicos.

En Australia los problemas del manejo de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente, se encuentra en un estado de aplicación para algunos estados. La ley federal sobre la protección del medio ambiente se promulgó en 1973 no obstante los procedimientos de protección ambiental existentes a nivel federal y estatal tienen diferencias sustanciales, lo cual impide una aplicación adecuada y eficaz.

En comparación a Canadá y Estados Unidos, en Australia se presta poca atención a los efectos cuantitativos y cualitativos sobre el medio ambiente, cuando se construyen sistemas hidroeconómicos [Fisher D.E.]. Los principales trabajos a realizar en un proyecto de grandes dimensiones de transferencia de escurrimientos de agua en Australia, como es el caso "Montañas de Nieve", se efectuaron cuando aún no se contaba con los requerimientos para la protección del medio ambiente.

No obstante, hay que mencionar que los problemas del medio ambiente, se tomaron en cuenta durante la construcción de ese sistema hidroeconómico. Una detallada investigación antes de la conclusión, se efectuó adecuadamente de tal manera que se inscriba la obra en la naturaleza misma del parque nacional, en el territorio en el cual parcialmente se ubican las obras sin dañar significativamente el entorno [Johnson K.E., Millar F.C.].

En la Gran Bretaña los aspectos de protección del medio ambiente respecto a la redistribución, manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos, se ocupan las oficinas regionales de cuencas hidrológicas. Cabe mencionar que a pesar de que se efectúan muy pocas transferencias de escurrimientos de agua, se prevé la construcción de algunos sistemas hidroeconómicos a los cuales se les presta una gran atención a los posibles efectos ambientales. Tal es el caso de la transferencia parcial de los escurrimientos, de los ríos del norte, hacia el río Tenn durante 1974-1979. Para sustentar este proyecto se realizó una expedición de investigación de la flora y fauna, para conocer el comportamiento de los escurrimientos, la calidad del agua y sus características ecológicas [Sever].

En la India los aspectos ecológicos de protección ambiental, debido a las obras hidráulicas de transferencia de escurrimientos son coordinados por una comisión central sobre recursos hídricos, perteneciente al departamento de Meteorología del Ministerio de Agricultura. En este país se efectúa una redistribución importante de los recursos hídricos en gran parte de la india, por más de 100 años. Lo anterior se puede considerar como un centro experimental que nos permite estudiar los efectos antropogénicos sobre el medio ambiente. Los resultados de las investigaciones sobre los efectos por la transferencia de escurrimientos durante grandes períodos de tiempo, así como un factor importante, que impacta en el balance hidráulico, lo anterior se observa en las publicaciones hechas por los científicos de la India [Sabjerval R.K.; Chandra S., Sinja K.P.].

En Rusia las evaluaciones de los diseños de grandes proyectos hidroeconómicos, se iniciaron desde los años treinta y cincuentas, con motivo de la realización del plan (GOELRO), que contempla la construcción de grandes plantas hidroeléctricas, sobre los principales ríos de Rusia como son el Dniéper, Volga, en los ríos de Kazajstán, Asia central y Siberia. Actualmente en Rusia a los problemas ambientales, se les brinda una especial atención, primeramente, para el control de la calidad del agua, contrarrestar la contaminación ambiental en las cuencas hidrológicas, mantener la productividad acuícola de los cuerpos de agua superficiales, proteger la capa fértil de los suelos en las cuencas hidrológicas, los bosques y disminuir la erosión de los suelos. En los últimos años se aplican una gran cantidad de leyes y disposiciones para una explotación racional

de los recursos naturales. Para el cumplimiento y control, se efectúa a través de una serie de organismos gubernamentales y sociales. Principal significado se les da a las investigaciones de los efectos sobre el medio ambiente, donde se han desarrollado proyectos recientes, para la transferencia de escurrimientos y una mejor redistribución de estos.

Este tipo de investigaciones se efectuaron y se efectúan en el marco de un programa a largo plazo para proyectos, con objeto de sustentar el desarrollo hidráulico en el país y un manejo integral de los recursos hídricos continentales, se contemplan la solución de las siguientes tareas:

- Evaluación de las condiciones ambientales de los recursos hídricos.
- Pronóstico de los cambios naturales y antropogénico de los recursos hídricos, régimen de los ríos, lagos, lagunas y mares, así como las condiciones climáticas en el futuro
- Evaluación de la influencia de las grandes transferencias de escurrimientos de agua bajo un esquema de cambios climáticos.

Lamentablemente las investigaciones hidrometeorológicas que fundamenten la redistribución territorial de los escurrimientos, se iniciaron con algunas determinaciones, de acuerdo con los proyectos elaborados, tomando en consideración ciertos retrasos en los primeros años, tomando en cuenta las evaluaciones respecto a los efectos sobre el medio ambiente, en las alternativas seleccionadas. Los resultados de las investigaciones científicas fueron utilizados para precisar el comportamiento de los ríos, así como de los volúmenes a transferir, basados en los hidrógramas de las avenidas que permitan garantizar la conservación de las cuencas hidrológicas, así como las características de los canales, volúmenes de las presas, selección de alternativas óptimas de proyecto. Sirvieron como base para la elaboración de una serie de recomendaciones para disminuir los efectos negativos de las transferencias de escurrimientos de agua.

La complejidad de los problemas debido a las transferencias de agua, provocó una gran discusión en las cuales tomaron participación una gran cantidad de sociedades. Se expresó que no se tenían los suficientes elementos y estudios ambientales, económicos, determinando que es necesario efectuar estudios más profundos. Tomando en consideración lo anterior, se programaron los recursos financieros y materiales a la realización de los trabajos, que permitieran incrementar la eficiencia para un manejo y aprovechamiento integral de los recursos hídricos. Por tal motivo se toma la importante decisión de continuar con los estudios de transferencia de escurrimientos de los ríos de Siberia y del norte, relacionados con la redistribución regional de los recursos hídricos.

Como parte de las conclusiones por mencionar en la actualidad, en todos los países del orbe, donde se elaboran o ejecutan proyectos de grandes dimensiones, como una importante componente de estos proyectos, la representa la evaluación de las condiciones ambientales, así como las probables consecuencias ecológicas. Las investigaciones para evaluar los posibles efectos por los grandes sistemas hidroeconómicos, se difundió en gran medida durante los años setentas, cuando se estimuló el crecimiento de las dimensiones de las transferencias de agua, así como el incrementó en la carga antropogénica sobre el medio ambiente, por lo que se han generado disposiciones y leyes que protegen el medio ambiente. Por lo anterior se realizan esfuerzos para elaborar métodos que evalúen cuantitativamente las variables ecológicas, en rangos de escala, funciones de daños beneficios, etc., de tal manera que se pueda expresar las consecuencias ecológicas en forma de costos, que permitan más activamente utilizar estos indicadores para determinar el costo total y la factibilidad socioeconómica de los proyectos de transferencia de escurrimientos de agua, ligar las evaluaciones ecológicas con las sociales, como se desglosará más adelante.

Prácticamente todos los aspectos fundamentales de la redistribución territorial del agua de grandes dimensiones, con las ecológicas, económicas y sociales, tienen una relación muy estrecha y únicamente una solución óptima entre ellas, que predeterminarán la viabilidad de cualquier proyecto. No obstante, deberá considerarse que la base de las evaluaciones ecológicas, está compuesta de las evaluaciones antropogénicas sobre el medio ambiente (medio de vida) y sobre los habitantes de este medio, incluyendo al hombre. Dichas evaluaciones apenas se están realizando. Podemos afirmar que en forma preliminar se han elaborado las evaluaciones y pronósticos sobre la posible influencia en el medio ambiente y sus habitantes, para cualquiera de

las componentes de los proyectos hidroeconómicos. Es necesario mencionar que aún no se cuenta con los pronósticos que puedan demostrarnos con seguridad todos los posibles escenarios, los cambios climáticos a largo plazo, así como la futura condición de los recursos hídricos y el régimen hídrico, la dirección del futuro desarrollo tecnológico y científico. Por el momento no se han elaborado los métodos que integren los indicadores de los efectos antropogénicos sobre las diversas componentes de la naturaleza.

Por tal motivo con estos pronósticos ecológicos relacionados con ellos los efectos socioeconómicos de grandes obras y principalmente las transferencias de agua entre regiones hidrológicas futuras, contienen muchos factores indeterminados. Estas indeterminaciones crecen conforme crecen las dimensiones de las transferencias de escurrimientos de agua, para lo cual debe efectuarse una evaluación de escenarios futuros.

## **6. Métodos y principales líneas de evaluación de futuros escenarios.**

Como sabemos todo tipo de agua en el mundo, están íntimamente relacionados con el proceso del ciclo hidrológico, en consecuencia cualquier cambio significativo de cualquiera de los elementos del ciclo hidrológico puede ocasionar situaciones de riesgo, tal es el caso de los escurrimientos de agua de un río, la toma de agua puede afectar a otros de sus elementos, como la evaporación de la superficie terrestre y el reingreso de humedad a la atmósfera; la acumulación de agua en los acuíferos, cuerpos de agua interiores, mares, evaporación de los cuerpos de agua superficiales.

Por otro lado, los recursos hídricos, la humedad del territorio, se encuentra íntimamente ligados a los procesos térmicos, y su relación determina toda la diversidad de zonas y paisajes existentes en la tierra. Por tanto, cualquier proyecto de grandes dimensiones encaminado a resolver la redistribución de los escurrimientos entre cuencas hidrológicas y entre regiones hidrológicas, tendrán efectos sobre el medio ambiente, el régimen de los ríos y cuerpos de agua que involucran estos proyectos, particularmente en forma de cadena (causa-efecto), de tal manera que es nuestra obligación detectar que componentes afectan al medio ambiente.

1.- Los cambios en el régimen hidrológico y la calidad del agua en los ríos y cuerpos de agua superficiales, como resultado de la construcción de obras hidráulicas, que permitan efectuar la transferencia de escurrimientos, la creación de nuevas redes hidrográficas inducidas (de transporte y sistemas hidroagrícolas).

2.- Los cambios en los ecosistemas acuáticos.

3.- Los efectos y cambios sobre el régimen del balance y calidad del agua subterránea de las cuencas hidrológicas donadoras y receptoras, por la construcción de redes hidrográficas artificiales y sistemas hidroagrícolas.

4.- Los efectos sobre el régimen y calidad del agua subterránea, debido al cambio del balance de minerales de las aguas de las cuencas hidrológicas, sus suelos, cobertura vegetal y ecosistemas subterráneos.

5.- Los cambios en el régimen hidrológico, balance de agua dulce y salobres en las bahías, mares y zonas costeras, en las cuencas hidrológicas sujetas a los sistemas de transferencia de escurrimientos

6.- Los efectos en las cuencas hidrológicas, que cuentan con sistemas de transferencia de escurrimientos de agua en los límites de la zona litoral, sobre las condiciones meteorológicas y circulación de humedad.

7.- Los diversos cambios ecológicos y ambientales que puedan provocar combinaciones complejas, que pueden tener influencia por largos períodos, debido a una relación directa e inversa.

Las experiencias adquiridas por las grandes transferencias de escurrimientos en algunos países, como en los Estados Unidos (California), en Pakistán, la India, se realizaron en los años setentas y ochentas enormes transferencias de volúmenes de agua de escurrimientos entre cuencas hidrológicas, así como en el este de Canadá, durante ese tiempo se efectuaron investigaciones fundamentales sobre el medio ambiente, para estimar los efectos de grandes sistemas de transferencia de escurrimientos para su redistribución territorial, como es el caso del río Danubio, los ríos de Siberia y norte de Rusia, realizados durante el período de 1976 a 1985. Lo anterior nos

permite evaluar posibles efectos ecológicos en el medio ambiente, como consecuencia de la transferencia de escurrimientos de agua característicos para las regiones donadoras, transporte, uso y aprovechamiento del agua (ver Tabla 4.16).

Naturalmente que la información en la Tabla anterior, puede ser complementada como resultado de las transferencias de escurrimientos de agua, por otro lado, las mismas consecuencias pueden surgir en diversos niveles ocasionalmente con diversas manifestaciones, dependiendo de las condiciones físico geográficas, por el tipo de obras hidráulicas, para la captación de agua transporte y distribución del agua entre los sectores usuarios.

Por lo anterior para cada una de las componentes del sistema con el cual se efectúa la redistribución de los recursos hídricos, se puede construir su propio esquema de consecuencias. Cualquier sistema de transferencia de escurrimientos, efectúa el suministro de agua desde regiones con suficiencia de recursos hídricos, hacia regiones con déficit de agua, donde el agua es un elemento vital o bien representa una fuerte conveniencia económica. Es evidente que este tipo de redistribución de escurrimientos de agua dirigidos, un gran efecto socioeconómico deberá alcanzarse en estas regiones.

En estas regiones se observa una gran cantidad de resultados activos en las zonas económicas, debido a la transferencia de escurrimientos de agua. El riego transforma las regiones áridas, incrementando la productividad de las tierras, mejorando las condiciones climáticas, así como de los suelos. Por otro lado las malas prácticas de riego, insuficiencia de drenaje de las aguas freáticas, así como en el no considerar las estructuras de las zonas de riego, provocan en muchos de los casos una sobre mineralización de los suelos, estancamiento de las aguas, decayendo la producción y productividad de las tierras, por lo anterior estas situaciones representan los efectos más negativos de la transferencia de escurrimientos en aquellas regiones donde el uso, manejo y aprovechamiento del agua para riego, es deficiente.

Una serie de cambios ecológicos positivos en la naturaleza, se presentan en las cuencas hidrológicas en los ríos donadores. Adicionalmente incluye el aumentado en las llanuras de inundación, estancamiento de agua a lo largo del cauce del río regulación de las avenidas y la eliminación de inundaciones severas, mejoramiento de las condiciones de recreación. Los que más padecen los cambios son las especies acuáticas, como los peces, pero primordialmente las especies de mayor valor comercial.

Generalmente durante la transferencia de escurrimientos a lo largo de la línea de conducción, se abastecen de agua los centros de población, lo cual estimula positivamente en desarrollos, su uso económico de estos proyectos. Los principales factores negativos que influyen en el medio ambiente, son la inundación de algunas zonas, otras tierras se desecan (dependiendo del carácter de Interrelación entre las aguas superficiales que se transfieren, con las aguas subterráneas aledañas en el trazo de la línea de conducción). Una importante tarea la representa la conservación de la calidad y cantidad del agua que se transfieren, evitar la posibilidad de transportar en el agua enfermedades transmisibles por las bacterias y virus, de la cual finalmente depende el efecto de la transferencia de escurrimientos de agua. Un problema principal lo representa el mantener la capacidad de conducción diseñada para los canales y la selección de las principales características morfológicas e hidráulicas, para evitar al máximo el desarrollo de los procesos fluviales.

Los factores más negativos que influyen sobre el medio ambiente, surgen generalmente durante el período de construcción del sistema de transferencia de escurrimientos de agua, en los primeros años de explotación. Durante este tiempo ocurren pérdidas de agua en los canales, presas de almacenamiento, cambiando el entorno, el balance entre las aguas superficiales y subterráneas. Con el tiempo las partículas en suspensión, se precipitan e impermeabilizan los canales y las presas de almacenamiento, se estabilizan los procesos fluviales, así como una compensación entre los diversos factores negativos que influyen sobre el medio ambiente, por los sistemas de transferencia de los escurrimientos de agua, los cuales pueden ir disminuyendo. Sin embargo, estudiando los pronósticos de los efectos ecológicos, como consecuencia de la transferencia de escurrimientos de agua, así como la elaboración de diversas medidas de protección, hay que considerar que cualquier acción a largo plazo y en una sola dirección sobre el medio ambiente,

puede ser la causa de una serie de efectos no deseados e irreversibles y difícilmente recuperables, particularmente en aquellos cuerpos de agua, con problemas de eutrofización poco estudiados.

Tabla No. 4.16 Tipos de efectos por la redistribución territorial de los escurrimientos de agua, sobre el medio ambiente y ecosistemas en las zonas donadoras, en el tramo de transporte y zonas receptoras del agua.

Zona donadora de agua	Zona para el transporte de agua	Zona receptora el agua
Aguas abajo de la fuente de captación	Por el cauce del río	
1. Disminución del escurrimiento medio anual.	1. Incrementó del escurrimiento medio anual.	1.- Incrementó de la productividad de las tierras de cultivos.
2. Modificación del hidrógrama.	2. Modificación del hidrógrama.	2.- Incrementó de la evaporación.
3. Disminución del nivel del agua.	3. Incrementó del nivel del río.	3.- Mejoramiento de las condiciones climáticas.
4. Disminución de los escurrimientos sólidos.	4. Incrementó de la temperatura del agua	4.- Deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea.
5. Intensificación de los procesos fluviales.	5. Cambios en el régimen de las aguas subterráneas e incrementó de su nivel.	5.- Incrementó del nivel estático de las aguas subterráneas.
6. Disminución del régimen térmico.	6. Inundación y anegación de tierras.	6.- Incrementó de la Salinidad de los suelos.
7. Disminución de la calidad del agua.	7. Incrementó de la erosión.	7.- Estancamiento de agua en las tierras.
8. Incrementó de la entrada de agua subterránea a los ríos y la consecuente disminución de sus niveles.	8. Incrementó de la evaporación, cambio del microclima.	8.- Incrementó de la erosión.
9. Disminución del tiempo de inundación de los valles.	9. Transformación de los ecosistemas acuáticos y terrestres.	9.- Transformación de los ecosistemas acuáticos y terrestres.
10. Disminución de los estancamientos de agua.	Por canales:	
11. Disminución de la producción pesquera.	10. Filtración e inundación de terrenos.	
12. Incrementó de la introducción del agua de mar en los cauces de los ríos.	11. Cambios en el régimen de las aguas subterráneas.	
13. Cambios en el balance de agua dulce y salobre en el mar, así como su estratigrafía.	12. Drenaje de las aguas subterráneas y desecación de tierras.	
14. Transformación de los ecosistemas acuáticos y terrestres.	13. Cambios en la temperatura y calidad del agua.	
Aguas arriba de la toma de agua.	14. Cambios en los ecosistemas terrestres.	
15. Inundación, encharcamiento y anegación de tierras	15. Disminución de la producción pesquera.	
16. Incrementó de la erosión e intensificación del depósito de azolves.	16. Transmisión de los generadores de enfermedades.	
17. Disminución de la temperatura y la calidad del agua.	17. mejoramiento de las condiciones recreativas.	
18. Incrementó de la evaporación, cambio del microclima, mejoramiento de las condiciones recreativas.	18. Cambios en el microclima.	
19. Transformación de las condiciones de los ecosistemas acuáticos y terrestres.	Por anti-ríos:	
	19. Inundación de los valles.	
	20. Anegación de las tierras aledañas.	
	21. Encharcamiento de tierras.	
	22. Cambios en el transporte y depósito de azolve.	
	23. Incrementó de los depósitos de fondo.	
	24. deterioro de la calidad del agua.	
	25. Cambios en la T° del agua	
	26. Transformación de los ecosistemas acuáticos y terrestres.	
	27. Disminución de la producción pesquera.	

Fuente: Voropaev G.V

Las evaluaciones de los efectos negativos, por la redistribución territorial de los escurrimientos de agua, deberán incluir adicionalmente las evaluaciones de los efectos sobre el medio ambiente, motivados por los sistemas de transferencia de escurrimientos, bajo escenarios a largo plazo de todos los elementos del ciclo hidrológico y el medio ambiente, en un marco bajo el cual se



construirán y funcionarán estos sistemas. Este pronóstico por sus características deberá ser de múltiples variantes y fundamentarse en diversos escenarios del desarrollo de los sistemas económicos, así como los posibles efectos antropogénicos en el clima.

El sentido común nos muestra que en la realización práctica de una gigantesca cantidad de cálculos, con la suficiente combinación de diversas alternativas de soluciones técnico-ingenieriles de los sistemas de transferencia de escurrimientos, la tendencia del crecimiento de muchas ramas del desarrollo económico, condiciones de los recursos hídricos y el medio ambiente, los volúmenes y régimen de la transferencias escurrimientos de agua y otros, lo anterior sólo es factible realizando simulaciones de los sistemas económicos en su conjunto, así como todos los procesos ecológicos y socioeconómicos que intervienen en los modelos numéricos. No obstante que por causas de soluciones de múltiples criterios de estas complejas tareas, no es factible calcular con un solo modelo. Más realista representa la elaboración de un conjunto de modelos interrelacionados y auto corregibles, que trabajen en un régimen de simulación y optimización que utilicen el principio de análisis de sistemas, Danilov - Danilian V.I., Jranovich I.L., el análisis de aspectos ecológicos, económicos, sociales y políticos, derivado del crecimiento de la crisis mundial para resolver los déficits de agua, ha motivado el crecimiento de metodologías y propuestas de técnicas, para conciliar los intereses de estrategias de los usos del agua, bajo condiciones indeterminadas en concordancia de modelos matemáticos, en los cuales además de contemplar los volúmenes de los recursos hídricos, efectivos recibidos por los usuarios, existen indicadores de estos volúmenes, que juegan un papel virtual de los recursos, denominado (volumen garantizado).

La posible estructura de un sistema de modelos se muestra en la Fig. No 4.14, Este sistema incluye los modelos de simulación locales y regionales, que describe los procesos naturales y su continuidad, que permita llegar al pronóstico de las consecuencias por la transferencia de escurrimientos. Entre todos los modelos como el que se presenta y en los demás bloques existe una Interrelación compleja y directa, que permite corregir los resultados obtenidos.

El modelo que se presenta sirvió de base en Rusia para organizar las investigaciones sobre los problemas de redistribución territorial de los escurrimientos de agua. Sin embargo, una relación práctica del sistema de modelos cómo se muestra en la Fig. No 4.14, no se encontró. Lo anterior se explica principalmente, el no poder contar con toda la información, para este tipo de modelos de gran escala, la falta de una base de datos suficiente, debido a los pocos estudios de muchas variables de los procesos, físico-geográficos, así como su Interrelación, la falta de elaboración de métodos seguros para el pronóstico de las condiciones del medio ambiente a futuro, la carencia de criterios ecológicos generales para evaluar diversas alternativas, para solucionar éste tipo de problemas hidroeconómicos complejos, así como la falta de una organización de sistemas basados en investigaciones multidisciplinarias, de gran cantidad de investigadores.

En los últimos años en el marco este tipo de problemas, se elaboró una gran cantidad de modelos destinados a la solución de diversos problemas particulares y generales. Se modelaron algunas partes de un sistema de transferencia de escurrimientos (ríos, lagos, estuarios, marismas, anti ríos, canales, presas de almacenamiento), así como los procesos de la formación de los escurrimientos líquidos y sólidos, el flujo, la calidad del agua, la formación fluvial de los cauces, el intercambio de humedad y del clima. Se realizaron las primeras aproximaciones de los modelos de sistemas ecológicos, en tramos de ríos, cuerpos de agua superficiales, mares interiores, así como toda una serie de modelos hidroeconómicos. En muchos de los casos estos modelos no están vinculados entre sí, aún en el marco de un solo sistema de transferencia de escurrimientos de agua.

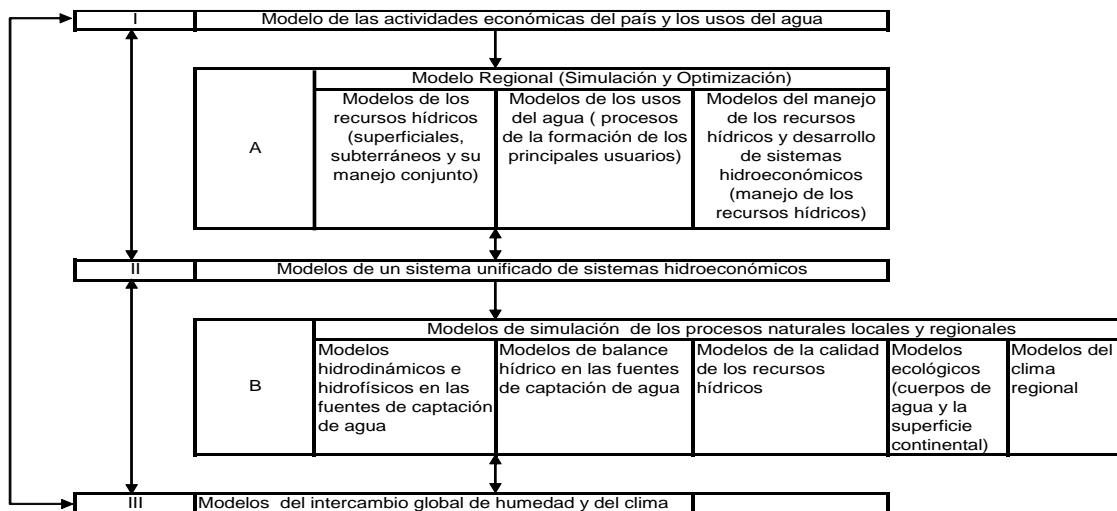


Fig. No 4.14 Diagrama propuesto por Voropaev G.V. para la modelación matemática investigación y evaluación de la redistribución territorial de los recursos hídricos y sus efectos en el medio ambiente.

### 6.1 Posibles efectos irreversibles a nivel global

Debido a la elaboración de proyectos de redistribución de escurrimientos de agua de grandes dimensiones en muchos países, ha causado ciertos temores, argumentando que su ejecución puede influir en el clima del planeta y el ciclo hidrológico. El mecanismo de influencia en el clima global debido a las transferencias de grandes volúmenes de agua, influyen en la circulación de la atmósfera del planeta, lo anterior se explica de la siguiente manera:

- Posible disminución de los mares árticos y polares, como consecuencia de una disminución de las descargas de escurrimientos de agua dulce.
- Un incremento sustancial de evaporación en la superficie de riego y en las regiones donde se aprovechan las transferencias de escurrimientos de agua.
- La influencia por el desplazamiento de grandes masas de agua en la superficie terrestre, por la velocidad de movimiento rotatorio de la tierra.

Una serie de estudios efectuados en los Estados Unidos, Canadá y Rusia respecto a los puntos anteriores, nos muestran que no se deben esperar cambios sustanciales en el intercambio del balance hidrotérmico en los océanos, como consecuencia de las transferencias de escurrimientos de agua de una cuenca a otra, de una región a otra. Tales son los casos en las cuencas de los ríos del norte de Canadá, nos referimos al proyecto NAWAPA, en Estados Unidos y los ríos del norte de Siberia en Rusia. No obstante, esto no significa, que no se deban efectuar los estudios necesarios, que nos permitan evitar posibles cambios en la circulación de la humedad en la atmósfera, a nivel regional y continental.

### 6.2 Influencia de la redistribución territorial de los escurrimientos fluviales sobre las condiciones climáticas

La magnitud de la influencia sobre los recursos hídricos, el microclima y macro clima, debido a la redistribución territorial de los escurrimientos de agua, es muy diversa. Desde no afectar prácticamente nada, cuando se trata de transferencias de pequeños volúmenes de agua a centros de poblaciones e industrias, hasta efectos negativos cuando se trata de transferencias de grandes volúmenes de escurrimientos de agua, a sistemas de riego entre cuencas hidrológicas y entre regiones hidrológicas muy distantes entre sí, ubicadas en regiones áridas y semiáridas.

La transferencia de escurrimientos entre regiones hidrológicas, para el desarrollo de extensas zonas agrícolas, se pueden analizar desde varios puntos de vista, es decir como un mejoramiento

de las condiciones de drenaje de los terrenos ubicados agua aledaños a las zonas de captación, que cuentan con exceso de humedad, para el riego de inundación de regiones con bajo nivel de humedad.

La principal influencia de este tipo de transferencias de escurrimientos, sobre las condiciones climatológicas, se trató a través de la disminución de la cantidad y régimen de evaporación. Cabe mencionar que este efecto se acentúa principalmente en los primeros años de operación de la infraestructura hidráulica, hasta que se adapta a las nuevas condiciones del paisaje y calor bajo condiciones de drenaje de los niveles freáticos.

Como sabemos la influencia de las presas de almacenamiento y zonas de riego, sobre las condiciones meteorológicas y estado del tiempo, se manifiestan desde hace muchos años, en muchos países del mundo, debido al alto crecimiento de las obras hidráulicas e hidroagrícolas. La necesidad de estudiar y fundamentar científicamente las grandes transferencias escurrimientos de agua, ha requerido y requieren investigaciones a fondo en cada caso, en cada una de las transferencias de escurrimientos.

Un importante volumen de investigaciones se ha realizado para evaluar las posibles influencias de transferencias escurrimientos de grandes dimensiones sobre el micro y macro clima, estas se efectuaron principalmente en los últimos años en China [Liu Changming Zuo Dakang y Xu – Yuexian]. Estas investigaciones se incluyeron dentro de las evaluaciones de pronósticos ecológicos, como consecuencia de la transferencia de escurrimientos del río Yangze Tziang al norte de Asia central. Los principales cambios de las condiciones climáticas están relacionados con la construcción al norte del río Juang Jue, nuevas zonas de riego en superficies de 4 a 5 millones de hectáreas. Los resultados de las investigaciones nos permiten efectuar conclusiones, en el sentido que la transferencia de 15 a 30 Km<sup>3</sup>/anuales de agua, del subtrópico (cuenca baja del río Yangze Tziang ), hacia la zona con clima templado, donde se tiene una alta pérdida de agua por la evaporación durante el riego, este factor no representó un riesgo en las zonas de la línea de conducción por otro lado los científicos chinos obtuvieron mejoras del clima, en las regiones receptoras de la transferencia de agua, ya que la evaporación adicional disminuye la fluctuación de la temperatura de 24 a 14 grados centígrados, incrementando la temperatura máxima del aire y en la superficie de la tierra durante la temporada de este estiaje de abril a mayo, en 8 a 9 grados centígrados, e incrementa la temperatura máxima de 1 a 2.5 grados centígrados. Las precipitaciones durante el período de estiaje pueden incrementarse de un dos a un 4%.

Los efectos climáticos por la transferencia escurrimientos de agua de grandes dimensiones deberíamos observar las en un fondo de escenarios antropogénicos probables, del cambio global del clima. En relación con lo anterior actualmente representa mayor interés, la cantidad de pronósticos sobre el fondo climático, sobre el cual efectuara la construcción y operación del sistema de transferencia de escurrimientos de agua, así como una evaluación de los recursos hídricos en el futuro, en diversas regiones y cuencas hidrológicas. Por lo que surgen las siguientes cuestionamientos. ¿Será un problema fundamental en el futuro la transferencia de escurrimientos de grandes volúmenes de agua? Debido a la gran cantidad de recursos económicos que se requieren para la transferencia de escurrimientos de agua, así como consecuencias ecológicas inevitables, la solución de estas preguntas, se requieren pronósticos seguros del clima para un rango de 50 a 100 años, hacia adelante, lo cual representa una situación de gran importancia.

### 6.3 Influencia de la redistribución territorial de los escurrimientos de agua sobre el balance hidráulico y el régimen hidrológico

Los escurrimientos, el régimen hidráulico de los ríos y la redistribución de los escurrimientos fluviales, desde el punto de vista de una o varias corrientes superficiales, representa un primer indicador para valorar una posible transferencia de escurrimientos donde intervienen muchos procesos ecológicos, los cuerpos de agua donde serán estas transferencias de escurrimientos, así como en aquellas cuencas hidrológicas que serán receptoras del agua. En algunos casos los cambios son muy representativos, que van desde una total disminución de los escurrimientos, hasta el incremento de los mismos de 8 a 9 meses de gasto en las corrientes receptoras, lo mismo ocurre a todo lo largo de la línea de conducción de agua (ver Tabla No. 6. 3). Por ejemplo, como resultado de la extracción de un volumen de agua de 24 Km<sup>3</sup> tomados del río Churchill en

Canadá para ser transferidos al río Nelson, el escurrimiento medio anual del río Churchill disminuyó de 32 a 8 Km<sup>3</sup>, es decir en un 75%, el escurrimiento medio anual del río Bertleud afluente del río Nelson, desde el cual se efectúa el suministro de agua al río Nelson, incrementado de 3. 3 a 27 Km<sup>3</sup> anuales de agua, es decir casi en un 800%.

Finalmente, la realización de otra gran transferencia de escurrimientos en Canadá, se refiere al proyecto de Jesius Bey, donde el escurrimiento de agua del río La Grand, se incrementó de 54 a 104 Km<sup>3</sup> anuales (en un 93%), el escurrimiento anual de los ríos donadores Istmein y Kacsook, en la descarga al mar disminuyó respectivamente de 29 a 4 Km<sup>3</sup> y de 90 a 65 Km<sup>3</sup>, es decir de un 86 a un 28%.

La transferencia de escurrimientos de agua en California, en el delta del río Sacramento se transfirió agua al río San Joaquín, disminuyendo el escurrimiento medio anual de agua dulce hacia el golfo de San Francisco en un 38%. El total de transferencias de escurrimientos de agua, fuera de la cuenca hidrológica del río Colorado, representa un 30% del escurrimiento virgen de este río, antes de su desembocadura al mar [California water war crests].

La realización de todos los proyectos de transferencia de escurrimientos de agua ejecutados en la cuenca del río Danubio, se vio disminuido su escurrimiento medio anual antes de su desembocadura al mar en un 12% [Baradachenko I.I. y Mijura V.I.].

**Tabla No.6.3 Cambios en la capacidad de las corrientes superficiales como resultado de las transferencias de escurrimientos.**

Río	País	Escurrecimiento virgen Q <sub>v</sub> Km <sup>3</sup> /año	Transferencia ΔQ Km <sup>3</sup> /año	Escurrecimiento después de la transferencia Km <sup>3</sup> /año	ΔQ/ Q <sub>v</sub> x100 %	Observaciones
Churchill	Canadá	32	-24	8	75	Construido
Bertbud	Canadá	3	24	27	770	Construido
La Grand	Canadá	54	50	104	93	Construido
Istmein	Canadá	29	-25	4	86	Construido
Koksoac	Canadá	90	-25	65	28	Construido
Sacramento	USA	39	-13	26	33	Construido
Colorado	USA	23	-7	16	30	Construido
Yanze Tiang	China	980	-30	950	3	En proceso
Danubio 1	Países aledaños al río Danubio	214	-25	189	12	En proceso
Obi	Rusia	324	-25	299	8	En proyecto
Piechora	Rusia	17	-9.8	7.2	58	En proyecto
Alto Sujon	Rusia	10	-4	6	40	En proyecto
Onega	Rusia	4	-2	2	50	En proyecto

Fuente: Shiklomanov I.A.

En la toma de agua para la transferencia de los escurrimientos de los ríos del norte de Rusia europea, por un volumen de 4 Km<sup>3</sup> de agua anual, aguas arriba del río Sunjan y 2 Km<sup>3</sup> de agua anuales del río Onega, la disminución del escurrimiento de agua, es de un 40 a un 50%. Por otro lado la capacidad hidráulica del río Sheksui principal arteria de transporte fluvial, a donde se transfieren escurrimientos de agua, con un incremento de dos a tres veces. Aquí se contemplan los proyectos ejecutivos de transferencia de agua de la cuenca baja del río Obí, de 25 a 60 Km<sup>3</sup> de

agua, lo cual representa de un 8.4 a un 18. 5% de escurrimientos anual de agua del río Obí en su desembocadura.

Los anteriores ejemplos nos ilustran los cambios en los escurrimientos medios anuales de los ríos, con sistemas de transferencia de escurrimientos de agua. Durante los años de bajos escurrimientos de agua, el grado de disminución de estos, fue debido a una extracción permanente de agua, lo cual puede agudizar su comportamiento. Cabe mencionar que los escurrimientos de muchos ríos donadores son desviados para cubrir la demanda de agua en las actividades hidroeconómicas, así como por una carga antropogénica adicional sobre las corrientes superficiales, conforme a los pronósticos efectuados tienen una tendencia a incrementarse.

Por ejemplo, el volumen de agua transferido fuera de los límites de la cuenca del río Colorado, es de 7 Km<sup>3</sup> de agua anuales, es decir un tercio de sus escurrimientos vírgenes son transferidos, disminuyendo considerablemente las descargas de agua en su desembocadura llegando a cantidades sumamente bajas. Cerca de 100 Km<sup>3</sup> de agua anual, son utilizados para el riego de la cuenca del río Yangze Tiang [401]. El total de técnicas en la cuenca del río Obí por actividades hidroeconómicas pronosticadas para el año 2000 fueron de 25 a 30 Km<sup>3</sup> de agua anuales, es decir casi semejante al volumen de transferencia.

Durante el proceso de una redistribución territorial de los recursos hídricos, no sólo se requiere la capacidad hidráulica de las corrientes superficiales, sino también fundamentalmente conocer su régimen, como resultado de la regulación de los escurrimientos superficiales en las presas de almacenamiento. Es evidente que mientras se tenga una mayor regulación de los escurrimientos en los ríos donadores, podremos garantizar la demanda de agua, por ello sería deseable el poder contar con los recursos económicos suficientes para poder realizar las obras necesarias para una regulación a largo plazo de los escurrimientos en las cuencas hidrológicas de los ríos donadores.

Adicionalmente las presas de almacenamiento, interactúan sobre el régimen hidráulico de los ríos, los sistemas de transferencia de escurrimiento tendrán influencia sobre el régimen de extracción, transporte y usos del agua, así como sobre todo tipo de actividades hidroeconómicas que se realizan en las cuencas hidrológicas, los valores promedio mensual, de un posible cambio en los escurrimientos del río Obí, como efecto de un conjunto de actividades hidroeconómicas en la cuenca, así como por la transferencia de 27 a 60 Km<sup>3</sup> de agua anuales fuera de su cuenca.

Las situaciones extremas en el comportamiento hidráulico y el balance hídrico de los ríos, deberá ser solucionado en cada caso, así como desde el punto de vista socioeconómico y ecológico, de lo anterior podemos mencionar que dentro de un plano metodológico todavía hay mucho que hacer al respecto. Por otro lado, al seleccionar cualquier alternativa de transferencia de escurrimientos de agua, así como la evaluación de la carga antropogénica que pueden soportar cada uno de los cuerpos de agua superficiales, rigiéndose por los principios de alcanzar una máxima productividad de los sistemas hídricos, ante un efecto negativo mínimo, como una consecuencia ecológica. Esta solución requiere una investigación muy profunda de los procesos hidrológicos de los cuerpos de agua superficiales, donde se piensa tomar el agua a transferir, así como a donde se usará, evaluando su valor hidroeconómico, biológico y recreativo.

En este marco de análisis, es importante clasificar las corrientes superficiales por sus principales características tales como: ecológicas, productividad pesquera (acuícola), flora, fauna y recreativos. El primer experimento de este biomonitoreo se realizó para los ríos del norte de Siberia en Rusia, tal como se muestra en el Tabla 6. 4, a pesar de lo semejante de las evaluaciones se pueden hacer las siguientes conclusiones, que lo más valioso desde el punto de vista ecológico son los ríos Obí y Pichora, el menos afectado es el río Onega. De lo anterior se desprende que es necesario lo menos posible dañar el régimen hidráulico del río Obí y analizar la posibilidad de transferir el régimen hidráulico del río Onega. Las recomendaciones respecto a la conservación del régimen hidráulico aguas abajo del río, deberá ser por lo menos un escurrimiento medio con 95% de probabilidad de ocurrencia para garantizar la estabilidad ecológica, claro está que la generación de estos criterios es evidentes y necesarios.

#### 6.4 Problemas de la calidad del agua

Como sabemos los problemas del agua en la actualidad no solamente se refieren a su cantidad, sino también a la calidad del agua de los ríos, almacenamientos naturales y artificiales, marismas,

incluyendo las aguas subterráneas, en centros de población sobreexplotados en el mundo, la contaminación por los desechos industriales y agrícolas, las descargas de aguas residuales urbanas y rurales, surgieron y progresan otro tipo de contaminaciones como la térmica, biogénica que provoca la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, oxidación de las agua superficiales, las lluvias ácidas. La UNESCO declaró durante el período de 1981-1990. El aniversario del suministro de agua para consumo humano y el saneamiento.

Las investigaciones hidroquímicas e hidrobiológicas realizadas durante el proceso científico fundamentado y proyectado en varios países, respecto a la transferencia de escurrimientos de agua, demostraron que la calidad del agua como es el caso de los ríos del norte de Siberia, como ríos donadores, no podemos considerar satisfactoria. Cuando se tienen bajos niveles de mineralización de los ríos, con bajos niveles de oxígeno disuelto, con altos niveles de sustancias orgánicas, contaminación por los procesadores de papel como es el caso en el río Suján, los productos derivados del petróleo se han detectado en los ríos Pichora, Irtysh y Obí. Las perspectivas en relación a la ampliación de las actividades hidroeconómicas en la cuenca de Estados Unidos, prevé que la calidad del agua pueda deteriorarse. Por otro lado una contaminación excesiva del agua se pronostica en la desembocadura del río Danubio.

Las condiciones negativas de los recursos hídricos, en las regiones donde se pretende aprovechar el agua para ser transferida, está condicionada por la necesidad de elaborar una serie de medidas de protección de los recursos hídricos, para regenerar la calidad del agua por medio de sistemas de tratamiento de aguas residuales de una alta eficiencia tecnológica, para poder recuperarse el agua residual y de reutilizarla en otros usos, así como construir la infraestructura necesaria antes de iniciar la transferencia de los escurrimientos de agua.

De tal manera que la cristalización de los proyectos de sistemas de transferencia de escurrimientos de agua de grandes dimensiones, son factibles de realizarse sólo si se prevén una serie de medidas de protección de la calidad del agua en los sistemas de transferencia de escurrimientos en todas sus variables.

La influencia de la redistribución territorial de los escurrimientos superficiales sobre la calidad del agua

Está compuesta por una influencia debido la construcción y funcionamiento de las obras hidráulicas, que se realizan durante una redistribución de los escurrimientos, por medio de canales, presas de almacenamiento, anti ríos (se refiere a ríos que funcionan en contra pendiente), plantas de bombeo y etcétera, trae como consecuencia por tomar agua de un sitio y transferir las grandes distancias, tales como:

- Irrigación con aguas salobres aguas arriba de los ríos donadores, debido a la disminución descubrimientos.
- Incrementó de la superficie y prolongación de la existencia de aguas con bajos niveles de oxígeno en las zonas de transición.
- Contaminación secundaria del agua, como resultado del humedecimiento y transporte de depósitos de fondo en los anti ríos, como resultado de una operación como líneas de transporte fluvial.
- Posibles consecuencias negativas por movimientos de diversos parámetros fisicoquímicos en el agua.
- Distribución de diversos gérmenes motivadores de enfermedades.

La evaluación y pronóstico en la calidad del agua, se complica al carecer de una metodología única, tales como indicadores para terminar los parámetros fisicoquímicos, biológicos y sanitarios, los cuales en muchas ocasiones son difíciles de determinar durante las transferencias de agua, una baja confiabilidad de los pronósticos a mediano y largo plazo, así como unas perspectivas de desarrollo por las diversas actividades hidroeconómicas, tecnologías de producción. Debido a lo anterior gran cantidad de pronósticos de la calidad del agua son totalmente inciertos.

Por las enormes transferencias escurrimientos que se efectúan en Siberia, gran valor representa el pronóstico del posibles cambios en la calidad del agua el canal principal de transferencia de agua, en sus primeras etapas las investigaciones respecto a este comportamiento en un canal de transferencia de agua con una longitud de 2300 Km., se tenía pensado que todo lo largo del canal se incrementaría la mineralización y contaminación del agua dejando de ser útil para la agricultura y todos los demás usos, gracias a los estudios realizados posteriormente, se llegó a nuevas suposiciones, respecto a la mineralización determinando su incrementó, tanto los cálculos obtenidos, así como los indicadores evaluados determinaron que la mineralización no pasaría arriba de los 250 mg. por litro y al final de la entrega, se tendrían un rango aceptable dentro de 350 a 500 mg. por litro.

Este proceso nos permite conocer otro escenario que nos muestra que la única manera en que se puede incrementar la mineralización del agua, es en el caso, en que las aguas subterráneas son meras aporten a las aguas superficiales una cantidad considerable de minerales, sin embargo tal situación no se puede presentar, ya que por otro lado deberá evitarse al máximo la descarga de aguas residuales no tratadas provenientes de las zonas de riego (aguas del retorno) y de centros de población.

Los pronósticos existentes en la desembocadura de las cuencas hidrológicas de los ríos Amudaría y Sirdaría, respecto a su mineralización, está es muy alta de 3 a 3.7 gramos por litro. Después de efectuar la transferencia de escurrimientos de los ríos del norte de Siberia, estos valores bajan hasta 1.5 gramos por litro, lo cual mejora considerablemente las condiciones físico químicas del agua del mar de Aral, cabe hacer mención que existen propuestas para que la transferencia de escurrimientos no se adhieran a los ríos Amudaría y Sir Daria, con objeto de mejorar las condiciones del mar de Aral, en lugar de alimentan las zonas de riego con el agua transferida del norte de Siberia, arrastraría las sales de la zonas de riego hacia el mar de Aral, agudizando aún más su actual condición en virtud de que las sales depositadas en el fondo no interactuarían en forma rápida con los escurrimientos de agua dulce que estarían ingresando de los ríos del norte de Siberia.

La toma de agua del río Onega, por una cantidad de dos kilómetros cúbicos anuales de agua, no afectaría su condición respecto a una posible mineralización de sus aguas, quedando en un rango de 14 a 38% de incrementó únicamente.

6.5 Aspectos socioeconómicos y legislativos por la redistribución territorial de los escurrimientos de agua.

Como sabemos la transferencia de grandes volúmenes de agua de una cuenta hidrológica, entre cuencas hidrológicas o bien entre regiones hidrológicas, transforman el medio ambiente, así como las actividades económicas, tocando intereses de la sociedad que la integran, en todas las regiones por donde cruzará el sistema de transferencia de escurrimientos de agua, por lo anterior además de representar un problema de ingeniería, también representa un problema social.

En la medida del desarrollo de las sociedades, se han explotado irracionalmente los recursos hídricos, esta relación sociedad y medio ambiente, hasta el siglo veinte consistía únicamente en tomar todo sin dar nada cambió, los cuerpos de agua superficiales, así como las aguas subterráneas han sido objeto de una intensa contaminación sin un control, por tanto esta actitud debe cambiar radicalmente, para poder implantar medidas de conservación y remediación que nos permitan mejorar la calidad del agua superficial y subterránea, estimular el desarrollo económico, la cultura respecto al uso eficiente y racional en todas las actividades hidroeconómicas de la sociedad, tales como agricultura con sistemas de riego modernos y eficientes, el suministro de agua a centros de población y zonas rurales, la industria, acuacultura, la hidroenergía, la recreación, el control de avenidas y el control de la contaminación.

Este último evidentemente es el más importante, debiendo aplicar leyes y controles más estrictos, para un uso, manejo y aprovechamiento integral de los recursos hídricos, poder pronosticar este comportamiento de todas sus variables, tanto hidrológicas, así como hidroeconómicas relacionándolas de tal manera que se pueda efectuar una planeación y desarrollo de las diversas ramas de la economía en forma sustentable y sostenible.

El desarrollo de una gran cantidad de proyectos de grandes dimensiones para la transferencia de grandes volúmenes de agua, se han realizado durante las décadas de los sesentas y setentas. Debemos hacer mención que la relación sociedad y los especialistas en hidráulica fueron hasta cierto punto favorable, al manejar nuevas fuentes de aprovechamientos de agua. En la actualidad ya ha transcurrido la etapa del temor por la transferencia de escurrimientos de agua, así como ocurre con otros recursos naturales, tales como el gas, el petróleo, los minerales, etc. [Quinn F.J.]. No obstante en la medida que estudiamos los diversos aspectos de la redistribución territorial de los recursos hídricos, la opinión científica cada vez más se inclina por considerar que los costosos proyectos de transferencia de escurrimientos de agua de grandes dimensiones, los cuales contienen determinados elementos de riesgo, tanto ecológicos, como sociales, deben de realizarse siempre que cuenten una amplia confiabilidad y que aseguren primeramente utilizar al máximo los recursos hídricos existentes, todo lo anterior acompañado de una serie de medidas estructurales y no estructurales que permitan un mejor y más eficiente aprovechamiento de los recursos hídricos locales y solamente después de esto hacer uso de los recursos hídricos más alejados en otras cuencas hidrológicas.

Durante el proceso de análisis de investigación y fundamentación de la transferencia de escurrimientos en todos los países del orbe, se establecieron una serie de posiciones coyunturales desde el punto de vista socio económico respecto a las transferencias de escurrimientos, que requieren solución y cuáles son las complicaciones de su ejecución.

Parte de estos problemas son:

- Todos los pro y contra de cada proyecto en forma específica la transferencia de grandes volúmenes de agua, considerando las perspectivas de su desarrollo económico y futura condición de los recursos hídricos.
- Regular los intereses, así como su interrelación de las regiones que donarán y recibirán el agua.
- Evaluación de los costos económicos, efectividad y tiempo de amortización de las transferencias.
- Influencia del mercado del agua, el papel que juega el agua en la sociedad, así como el sistema de costos del agua en el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos.
- Determinación de los índices socioeconómicos, así como la efectividad de cada proyecto de transferencia de escurrimientos.
- Solucionar los problemas que surjan para un desarrollo equilibrado en la agricultura, así como en otras ramas de la economía (revertir los aspectos negativos que puedan suscitarse en la agricultura a fin de evitar un retroceso en su desarrollo).
- Salvar los obstáculos legales que surjan durante la ejecución de los proyectos de transferencia de escurrimientos en particular las posibles formas de tenencia del agua.
- Solución los problemas en los ríos internacionales.

Analizar cada uno de estos problemas en su forma general y particular, así como el grado y profundidad de análisis que se requiera, para que se pueda alcanzar un panorama total de los problemas que conllevan efectuar una redistribución territorial de los recursos hídricos en su conjunto.

Es de esperarse que la complejidad de muchos de estos problemas para diversos países, por la planeación y ejecución de estos, la transferencia de escurrimientos, es muy distinta y en muchos de los casos, se resuelven dependiendo de la disponibilidad de los recursos existentes, su legislación vigente y muchas otras particularidades económicas y estructurales. Como es el caso de nuestro país, los diversos ordenamientos legales existentes en materia de aguas nacionales y preservación de los ecosistemas requieren serios cambios.



Como sabemos en nuestro país se han publicados importantes Leyes tendientes a proteger nuestros recursos naturales, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su Sección II referente al Ordenamiento Ecológico del Territorio, Art. 19, fracciones I-V, establece que deberá considerarse la naturaleza y características de los ecosistemas existentes en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce soberanía y jurisdicción, la vocación de cada zona o región, en función de sus recursos naturales, la distribución de la población y las actividades económicas predominantes, considerar los desequilibrios existentes en los ecosistemas por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales, así como el equilibrio que debe existir entre los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales; y el impacto ambiental de nuevos asentamientos humanos, vías de comunicación y demás obras o actividades.

En su Sección V referente a la evaluación del Impacto Ambiental, en su Art. 28, fracciones I-XIII, se establece que deberá efectuarse el impacto ambiental, ya que, es el procedimiento a través del cual la SEMARNAT establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente. Para ello, en los casos que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría: Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales.

Para poder obtener la autorización correspondiente deberá cumplirse con lo que se establece en el Art. 30, 31 y 34, fracciones I-V. En su Sección VIII, Art. 39 referente a la investigación y evaluación ecológicas.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su Título Tercero referente al aprovechamiento sustentable de los elementos naturales, Capítulo I "Aprovechamiento Sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos", Art. 88, fracciones I-IV, Art. 89, fracciones I-X y Art. 90, 91, 92, 93, 94, 95 y 96, se establece que corresponde al Estado y a la sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico; El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos deben realizarse de manera que no se afecte su equilibrio ecológico; Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos, y la preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos es responsabilidad de sus usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos.

Los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, serán considerados en: La formulación e integración del Programa Nacional Hidráulico; El otorgamiento de concesiones, permisos, y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales o la realización de actividades que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico; El otorgamiento de autorizaciones para la desviación, extracción o derivación de aguas de propiedad nacional; El establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva; Las suspensiones o revocaciones de permisos, autorizaciones, concesiones o asignaciones otorgados conforme a las disposiciones previstas en la Ley de Aguas Nacionales, en aquellos casos de obras o actividades que dañen los recursos hídricos nacionales o que afecten el equilibrio ecológico; La operación y administración de los sistemas de agua potable y alcantarillado que sirven a los centros de población e industrias; Las previsiones contenidas en el programa director para el desarrollo urbano del Distrito Federal respecto de la política de reuso de aguas; Las políticas y programas para la protección de especies acuáticas endémicas, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial; Las concesiones para la realización de actividades de acuicultura, en términos de lo previsto en la Ley de Pesca, y La creación y administración de áreas o zonas de protección pesquera.

## 6.6 Aspectos socioeconómicos respecto a una redistribución territorial de los escurrimientos de agua.

La esencia de los aspectos socioeconómicos por la distribución territorial de los recursos hídricos por medio de la transferencia de escurrimientos de agua de grandes dimensiones, consiste en que la redistribución del agua entre cuencas hidrológicas (regiones, municipios, provincias, estados, etc.), no representa un considerable daño al medio ambiente y la economía, por otro lado que garantice la solución de los principales problemas de los centros de desarrollo económicos, que propicie al mismo tiempo un desarrollo económico y social de un país. Por tanto, tenemos que decir que la transferencia de los escurrimientos de agua deberá presentar un beneficio para un país, por un largo período de tiempo, así como estimular un desarrollo económico y social sustentable.

Los métodos socioeconómicos de investigación sobre la transferencia de escurrimientos, que en todo el mundo se han elaborado, son de carácter preliminar todas las evaluaciones. No obstante, es evidente que la base de esta investigación deberá ser enfocada hacia las particularidades de la economía de diversas regiones, otros recursos hídricos, usos del agua, ocupación de la población, productividad y pronósticos de las tendencias para diversas alternativas y perspectivas de desarrollo.

La evaluación de la efectividad socioeconómica por la transferencia de escurrimientos de agua de grandes dimensiones, puede ser obtenida por medio de la comparación de todos los efectos positivos y negativos evaluados en las regiones hidrológicas involucradas. Al mismo tiempo debemos comparar la efectividad social y su desarrollo de regiones hidrológicas con o sin la transferencia de escurrimientos. Como resultado de este tipo de análisis y comparaciones, se requiere determinar el volumen óptimo de transferencia de agua, con el cual se garantizará que la **suma total de evaluaciones positivas para las regiones generadoras y receptoras son las mejores.**

Una de las principales tareas de las transferencias de escurrimientos de agua, son evitar un estancamiento económico, disminución de fuentes de trabajo, entre otros.

## 6.7 Costos y actividad económica por la transferencia de escurrimientos de agua

En el mundo, se han elaborado una gran cantidad de métodos y técnicas para evaluar el costo y la efectividad económica de las medidas para utilizar los recursos naturales. En los últimos años a nivel mundial se han construido proyectos de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones, debido a lo anterior se han estado elaborando y mejorando procedimientos que nos permitan valorar los costos de las transferencias de escurrimientos.

Los costos por las transferencias de escurrimientos, se integra de tres componentes fundamentales:

- Costos por los diseños y soluciones técnicas, así como por la operación de los sistemas de transferencia de escurrimientos.
- Compensación directa por daños debido a la construcción de los sistemas de transferencia de escurrimientos (puesta en marcha de los masivos agrícolas, transformación y modernización de las técnicas de riego, centros de población y otros).
- Gastos relacionados con los costos que se requieren para mitigar y compensar los efectos negativos sobre el medio ambiente en las regiones hidrológicas, que pueden ser afectadas por la transferencia de escurrimientos, es decir el costo ecológico de un proyecto que representa la parte más compleja de determinar, el costo general de los sistemas de transferencia de escurrimientos.

Como sabemos la construcción y operación de diversas obras hidráulicas, que aseguren el transporte de agua a un régimen determinado (política de operación), es la parte que mejor se puede valorar. En los Estados Unidos para este objetivo, se suprimen una serie de expresiones analíticas, por medio de los cuales podemos determinar los costos de las principales obras hidráulicas, tales como: presas de almacenamiento, canales, túneles, acueductos cerrados, dependiendo de su longitud, capacidad de conducción plantas de bombeo que dependen del gasto

de agua por bombear y etc. En términos generales los costos de las principales obras, se determinan por los siguientes factores básicos: volumen de agua a transferir, longitud de la línea principal (así como su capacidad de conducción), altura total hasta donde deberá entregarse el agua. En la medida que las dimensiones de estos factores, se incrementen, serán más costosas las soluciones técnicas. Para cualquier condición semejante, serán más costosas en aquellos casos donde se cuenta con menor población poco industrializada.

Los gastos directos para compensar los daños producidos durante la construcción de las transferencias de escurrimientos, se determinan precisamente por la capacidad de los sistemas considerando la superficie total a beneficiar y finalmente por las particularidades económicas y poblacionales de las regiones. Como es natural para aquellas regiones donde están poco pobladas y que no se han aprovechado sus tierras las compensaciones económicas serán menores.

Para obtener un cálculo más seguro, respecto a los costos ecológicos de cualquier proyecto, se requieren lo siguiente: una evaluación completa del proyecto, sus efectos sobre el medio ambiente en todo el territorio, por donde intervenga la transferencia de escurrimientos, principalmente en la regiones hidrológicas donadoras de agua, su transporte y los usos del agua a los que estará destinada, la evaluación por efecto de los cambios del medio ambiente, sobre las condiciones socioeconómicas de la región, transformación y evolución económica del conjunto de obras para contrarrestar y mitigar los posibles efectos negativos no deseados (medio ambiente).

En un marco científico resolver los principales problemas, representan la base, para poder atender los casos más complejos, ya que se requiere evaluar en forma integral todos los efectos sobre el medio ambiente, bajo condiciones naturales y con las obras que se propongan, de cómo estas pueden afectar el medio ambiente y sufrir cambios sustanciales. Por otro lado, este tipo de evaluaciones deberán realizarse bajo condiciones, cuando no se encuentran análogos en alguna parte del mundo, así como experiencias en la construcción y operación de sistemas de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones.

El costo ecológico de un sistema de transferencia de escurrimientos, depende fundamentalmente por el tipo, dimensiones, características de las regiones y grado de influencia sobre el medio ambiente. Estos costos serán menores para pequeños proyectos y altos para proyectos de grandes dimensiones, que abarcan enormes superficies territoriales con diversas condiciones físico geográficas. Como se muestra en los análisis efectuados a nivel mundial, es muy difícil comparar entre sí los grandes proyectos de transferencia de escurrimientos de agua, además que por sus diferencias técnicas, así como por las condiciones bajo las cuales se realiza la construcción, por su operación, por otro lado estas obras, se han realizado en diversos épocas, por tanto sus análisis son difícilmente comparables, por otro lado los costos ecológicos no se efectuaron con la profundidad requerida o bien prácticamente no se llevaron al cabo, inclusive ni en forma preliminar. En gran medida lo anterior se explica, ya que, en algunos casos, se obtuvieron bajos costos en muchos proyectos, tales son los casos de las obras que se construyeron en la India, adicionalmente en los proyectos hindúes, se aprovechó la orografía natural de las cuencas hidrológicas, las transferencias de escurrimientos aprovecharon al máximo los desniveles topográficos (transferencia de escurrimientos por gravedad), hacia los valles y planicies de ese país.

Otro caso con relativamente bajos costos por las transferencias de escurrimientos de grandes dimensiones, es el de Canadá, lo anterior se explica, primero por la baja densidad poblacional, segundo por las condiciones geomorfológicas y físico geográficas favorables de las regiones.

Los proyectos de transferencia de escurrimientos en los Estados Unidos de Norteamérica, elaborados en 1969 (antes de legislar en cuanto los requerimientos ecológicos a cumplir para este tipo de proyectos), así como por los costos destinados a las medidas de remediación a aplicar por los desequilibrios ecológicos ocasionados, la misma situación, se presentó en esa época en México.

Costo de las transferencias de escurrimientos.

Los costos de los proyectos por la transferencia de escurrimientos elaborados en la antigua Unión Soviética, consideraron en gran medida estos costos, ya que se obtuvieron gracias a un análisis integral de una serie de efectos negativos sobre medio ambiente. El análisis de costos del sistema

de transferencia de escurrimientos de diverso tipo en operación, en construcción y en diseño en el mundo, nos demuestra que fluctúan en un amplio rango, si tomamos como base de un análisis un Km<sup>3</sup> de agua a transferir anualmente, obtenemos los siguientes parámetros:

- Transferencia de escurrimientos locales, en una misma cuenca y entre cuencas de 50 a 150 millones de dólares, con un bombeo de agua a alturas no muy grandes y de 250 a 400 millones de dólares, cuando se tiene que elevar el agua a grandes alturas.
- Los sistemas de transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas y entre regiones hidrológicas de grandes dimensiones de 100 a 200 millones de dólares, cuando se transfiere poco volumen de agua y el bombeo es a baja altura, de 300 a 500 millones de dólares, cuando se tiene que bombear a grandes alturas
- Sistema de transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas y regiones hidrológicas, de gigantescas dimensiones de 300 a 1,000 millones de dólares.

En condiciones físico geográficas favorables (los proyectos de Canadá y la India), el costo de las transferencias de escurrimientos, fueron mucho menores a los de arriba mencionados.

De tal manera que los sistemas de transferencia de escurrimientos complejos de grandes dimensiones, conforme más alto sea el costo específico, más difícil será determinar su evaluación económica. Cabe mencionar que esta evaluación incluye los costos ecológicos de los proyectos conforme a las dimensiones de la superficie que puede ser influenciada por el sistema de transferencia de escurrimientos, se incrementa la cantidad de componentes que abra que relacionar con los sistemas ambientales y ecológicos, por tanto, se requerirá una gran cantidad de información. Para los proyectos de enormes dimensiones la cantidad de interrelaciones, se incrementan exponencialmente, lo cual en la práctica nos obliga a analizar únicamente los parámetros básicos.

Por otro lado, la selección de interrelaciones entre las componentes, se efectúa no sólo con lo que es más conveniente, sino también con la información disponible. Lo anterior se desprende de la indeterminación de la evaluación de los sistemas de transferencia de escurrimientos sobre el medio ambiente, por consecuencia se incrementa el costo del proyecto. Cabe mencionar que la indeterminación depende de las dimensiones y complejidad del proyecto.

El costo de un sistema de transferencia de escurrimientos, está íntimamente relacionado con la efectividad económica, en gran medida, se determinan comparando el costo total del proyecto y las ventajas que se pueden obtener al aprovechar la transferencia de escurrimientos de agua.

Para evaluar la factibilidad de las alternativas seleccionadas, se emplea en Rusia el principio económico-ecológico, en correspondencia a la comparación de las alternativas técnicas de los proyectos, en consecuencia, se elaboran los siguientes criterios:

- Determinar los menores efectos que afectan directamente al medio ambiente y la economía de la región donadora.
- Determinar la posibilidad de poner en operación las obras en los tiempos programados, bajo las condiciones de crecimiento del uso, manejo y aprovechamiento del agua en las regiones donde se requiere la exportación del agua.
- Los proyectos deberán tener bajos costos de energía eléctrica para el bombeo de agua.
- Minimizar la indeterminación, durante la evaluación de posibles consecuencias y costos de las obras programadas.

Los anteriores criterios fueron aplicados para los sistemas de transferencia de escurrimientos de las cuencas hidrológicas del noreste y norte de la región europea rusa, en las cuencas hidrológicas del río Volga y ríos de Siberia, así como para la cuenca hidrológica del mar de Aral, en estas cuencas se analizaron minuciosamente una gran cantidad de soluciones técnicas.

La amortización de los sistemas de transferencia de escurrimientos, por los resultados obtenidos, se inicia a partir del octavo o décimo año, disminuye este tiempo cuando se trata de proyectos

integrales. Como un buen ejemplo, se puede tomar la experiencia australiana del sistema hidroeconómico integral denominado "Montañas de Nieve", a través del cual se transfiere escurrimientos: por 4 Km<sup>3</sup> de agua anualmente. La generación media de electricidad en este sistema integral representa 5,000 millones de Kwt hora, por lo que se ha pagado en su totalidad la obra y la recuperación de los gastos de operación [Berezniev A.C.].

Hay que mencionar que la evaluación de factibilidad económica y la recuperación del sistema de transferencia de escurrimientos planeada contienen factores de indeterminación por lo complejo de los efectos sobre el medio ambiente, adicionalmente por la posible variación súbita de los factores económicos.

Por ejemplo, fuertes fluctuaciones sobre el costo de los granos y el algodón en el mercado internacional, lo cual en gran parte determina la rentabiliza de la transferencia de escurrimientos de agua, hacia las regiones áridas y semiáridas y como consecuencia la factibilidad económica y amortización de los proyectos de sistemas de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones.

#### 6.8 Aspectos legales y sociales por la redistribución territorial de los recursos hídricos.

Es muy evidente que la factibilidad socioeconómica, de cualquier alternativa de un proyecto de transferencia de escurrimientos, su realización puede ser frenada o cancelada por una serie de razonamientos y situaciones legales. En igualdad de circunstancias financieras y constructivas los sistemas de transferencia de escurrimientos integrales de grandes dimensiones, resultan mucho más difícil su construcción, cuando se desea realizar en forma particular, en comparación es más factible su ejecución, si esta es promovida través de un gobierno federal, generalmente los problemas de la tenencia de la tierra, complican la construcción de las obras, por lo que abra que considerar este factor en nuestro país, como sabemos la ley de aguas nacionales requiere adecuaciones sustanciales para poder salvar cualquier obstáculo, que impida la realización de este tipo de obras.

En la medida en que se van agotando los recursos hídricos, va creciendo el costo del agua, por tanto, se incrementan los conflictos por estos recursos, asimismo por la tenencia de la tierra. La redistribución territorial de los recursos hídricos, en la mayoría de los casos, se enfrentan ante la oposición de las regiones donadoras de agua, aun cuando reciban beneficios sociales y económicos. Lo anterior se explica por la indefinición de las posibles consecuencias ecológicas, así como la tendencia de desarrollo económico en escenarios de escasez de agua en años extremadamente bajos, así como la solución de problemas muy complejos, costo-beneficio, derechos y obligaciones de todas las partes involucradas.

La factibilidad de cualquier alternativa de sistemas de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones, es sumamente compleja sin embargo si lo vemos desde el punto de vista regional, por tanto, debe contemplarse a nivel nacional su aprobación, los intereses locales complican la solución a los problemas sociales y al mismo gobierno federal.

El manejo del agua está descentralizado en muchos países, para solucionar los problemas de suministro de agua de algunas regiones, municipios o estados, esta situación puede obstaculizar la realización de transferencia de escurrimientos de grandes dimensiones, entre cuencas hidrológicas y entre regiones hidrológicas, por lo que es de gran relevancia que el gobierno federal mantenga el control de los recursos hídricos de una nación, para poder ejecutar este tipo de obras hidráulicas.

Como sabemos las mayores dificultades se producen cuando la transferencia de escurrimientos, se realiza entre países, tal es el caso entre México y Estados Unidos de Norteamérica, o Canadá y Estados Unidos de Norteamérica. En la actualidad en Canadá se concluyó un proyecto de grandes dimensiones para la transferencia de escurrimientos, así como la interconexión al sistema hidráulico de ese país, en Canadá mejor decidieron enviar energía eléctrica a Estados Unidos en lugar de transferirles agua.

## 7 Conclusiones

Los cambios severos en los procesos hidrológicos naturales, que ha sufrido la tierra durante su evolución, han provocado trastornos climáticos muy graves para la vida en el planeta, el resiente cambió en la circulación de las corrientes de aire en los polos provocó un incremento en la temperatura en un grado centígrado, en muchas regiones se presentaron sequías e inundaciones severas.

Otros fenómenos naturales que han existido durante centurias como son el proceso climático del niño y la niña, también contribuyen a los cambios climáticos, causando pérdidas cuantiosas en todas las actividades humanas.

Dentro de los efectos devastadores sobre el medio ambiente, se encuentran los procesos antropogénicos, es decir las actividades humanas han contribuido considerablemente al deterioro del medio ambiente, el creciente aumento de la población y la industrialización ejercen presión sobre los recursos naturales.

Como sabemos del balance de agua en el planeta, los recursos hídricos en el planeta este representa 1,386 millones de  $\text{Km}^3$ , de este volumen el 97.5% es agua salada y únicamente el 2.5%, es agua dulce, gran parte de este volumen se encuentra en forma de hielo y nieves eternas, que se localizan en la Antártica y el Ártico y zonas montañosas (68.9%), un 29.9% es agua subterránea. Únicamente el 0.3% del total de agua dulce se encuentra en los continentes, en cuencas hidrológicas, es decir en las corrientes superficiales y cuerpos de agua (lagos, lagunas y represas).

Para continuar sobre el conocimiento de los recursos hídricos, deberá incrementarse el estudio y monitoreo de las variables hidroclimatológicas, a nivel regional y de gran escala, para entender los cambios globales del clima, con lo cual se podrá estar preparado para disminuir los riesgos por los efectos extremos de los fenómenos climáticos que se presenten.

Las condiciones óptimas para una humedad natural en cada territorio del planeta, se observa cuando tenemos la siguiente condición [(precipitación media (P)) – (evaporación media (Eo))=0] o bien una pequeña pérdida de 200 mm. /año de precipitación debido a la evaporación, en las zonas no tropicales y de 400 mm. /año para zonas tropicales. En promedio para todas las zonas continentales del planeta la diferencia permisible es de (P-Eo), corresponde 124 mm. /año de déficit, en diversas zonas de 2,500 mm. /año de déficit para el desierto del Sahara, en las zonas costeras montañosas, islas en los océanos y zonas ecuatoriales continentales es de 2,000-3,000 mm. /año.

Las zonas de exceso y déficit de humedad (en condiciones normales), falta de humedad se presenta en un 20% del territorio europeo, 50% en Asia, casi en toda Australia, gran parte de África y suroeste de América del Norte (30%) y cerca de un 20% en América del Sur. Las condiciones óptimas en cuanto a humedad se observan, en no más de un 10% de las zonas continentales.

En la actualidad para cada habitante, en el planeta se requieren 1.3  $\text{m}^3/\text{día}$ , que al mismo tiempo son en promedio 2,0  $\text{m}^3/\text{día}$ . Por otro lado, queda claro, que efectuar una redistribución territorial de los escurrimientos mejoraría las demandas de agua, no obstante, no es posible realizar todas las obras por problemas técnicos, económicos, ambientales y sociales, debido a la división territorial de las naciones y los estados, tal es el caso de la República Mexicana.

La irregularidad temporal de la distribución de los escurrimientos, nos arriba a situaciones críticas a un en aquellas zonas con humedad media anual optima, en algunos meses y años pueden ocurrir estiajes e inundaciones severas, que requieren de una regulación temporal y anual de los escurrimientos.

La problemática de la fluctuación multianual de los escurrimientos en los ríos y la variación de los niveles en los cuerpos de agua continentales como lagos, lagunas, mares interiores, están totalmente ligados a la irregularidad interno anual de los escurrimientos, lo anterior representa un proceso hidrológico muy actual, que durante muchos años ha llamado la atención de gran cantidad de científicos de todo el mundo.

La duración de la fase de estiaje, en los ciclos históricos del comportamiento de los escurrimientos representa de 2 a 3 y de 15 a 20 años, para ciclos completos que incluyen fases de abundancia y déficit de escurrimientos de 2 a 3 y de 25 a 40 años. Por lo anterior entendemos que durante períodos prolongados los escurrimientos temporales en los ríos, en diversas zonas del planeta pueden ser considerablemente menores a sus valores medios multianuales. Tal escasez provoca pérdidas colosales a todas las actividades hidroeconómicas, que están calculadas con valores de escurrimientos medios.

En términos geológicos se considera que un período completo del ciclo hidrológico de renovación de agua en los océanos, se estima que es del orden de 2,500 años. Para las nieves eternas y zonas polares es de 10,000 años, para los acuíferos y los glaciares en las zonas montañosas es de 1,500 años. La recarga de agua en los lagos es de 17 años en los ríos 16 días, el manejo de agua es básico para determinar los cambios en las características del agua, como sabemos existen dos concepciones para aprovechar y usar los recursos hídricos de una determinada región hidrológica, estadísticamente el almacenamiento de agua, así como su renovación incluye convencionalmente períodos muy complejos que durante gran cantidad de años, se ha reflejado en el comportamiento de lagos, lagunas, acuíferos, glaciares, etc..

El uso intensivo de los recursos hídricos ha dado como resultado el agotamiento de muchos cuerpos de agua, esta sobre explotación severamente ha afectado los ecosistemas, desequilibrando el balance hidrológico natural en el planeta, el cual se mantuvo estable durante centurias, requiriéndose miles de años para su recuperación.

Los requerimientos de agua junto al crecimiento poblacional e industrial, dependen de la disponibilidad de los recursos hídricos. El consumo por habitante al día en algunos países desarrollados, es variable de 300 a 600 litros por habitante al día. A finales del siglo pasado en Europa y América del norte, se incrementó el suministro de 500 a 800 litros por habitante al día. Situaciones totalmente contrarias encontramos en los países de África, Asia y América Latina donde el suministro de agua varía de 50 a 100 litros por habitante al día. En algunas regiones del planeta, con gran insuficiencia de recursos hídricos el suministro de agua, es muy bajo de 10 a 40 litros por habitante al día.

Respecto al volumen de riego, en el norte de Europa se requieren de 3,000 a 5,000 m<sup>3</sup> por hectárea, cuando en el sur de Europa se requieren de 7,000 a 11,000 m<sup>3</sup> por hectárea, por otro lado, las aguas de retorno en estos sistemas de riego varían de un 20 a un 30%. En Estados Unidos de Norteamérica la extracción de agua estimada es de 8,000 a 10,000 m<sup>3</sup> por hectárea, es decir de un 40 a un 50%. En los países de Asia, África, Centro y Suramérica, debido a su gran diversidad climática y tecnología de riego, varía la demanda de (5,000 a 6,000 m<sup>3</sup> por hectárea) y de (15,000 a 17,000 m<sup>3</sup> por hectárea), y en algunas regiones muy especiales de África, las extracciones varían de 20,000 a 25,000 m<sup>3</sup> por hectárea.

Respecto al pronóstico sobre el uso del agua a nivel mundial. Existe una serie de factores básicos que nos permiten determinar las características cuantitativas de los usos del agua en grandes regiones y países del planeta, el nivel de desarrollo social y económico. La cantidad de población, condiciones fisiográficas, climáticas y la superficie de las zonas de estudio. Esta combinación de factores determina el uso y estructura del agua, así como su dinámica y tendencia de su futuro desarrollo.

Hasta el año de 1995 el agua comprometida era de 3,788 Km<sup>3</sup>/anuales, para uso consuntivo 2,074 Km<sup>3</sup>/anuales, la demanda futura de agua crecerá a razón de un 10 a un 12% cada 10 años, de tal manera que para el año 2025, se demandarán 5,235 Km<sup>3</sup>/anuales.

Los mayores incrementos de demanda de agua se tienen en Asia, ya que para el año 2000 se requirieron 2,357 Km<sup>3</sup>/anuales de agua y para el año 2025 demandarán 3,254 Km<sup>3</sup>/anuales, lo anterior como podemos observar está íntimamente ligado al crecimiento poblacional y al uso consuntivo del agua del año 2000 (1,458 Km<sup>3</sup>/año) al 2025 (1,876 Km<sup>3</sup>/año).

Para Europa, América del Norte, América del Sur, África, Australia y Oceanía la demanda no se incrementa mucho. En total en el planeta para el año 2025, se demandarán 5,235 Km<sup>3</sup>/año y para uso consuntivo 2,764 Km<sup>3</sup>/año.

Actualmente la agricultura demanda 2,605 Km<sup>3</sup>/anuales de agua y 1,834 Km<sup>3</sup>/anuales de uso consuntivo de agua a nivel mundial, ya que la superficie bajo riego es de 253 millones de hectáreas, para el año 2025 se tendrá una superficie bajo riego de 329 millones de hectáreas, es decirse 76 millones de hectáreas más en 25 años.

Como sabemos la distribución territorial de los recursos hídricos es muy desigual en los continentes, así como las grandes diferencias entre poblaciones, impiden un desarrollo económico sustentable, para poder revertir esta situación deberá realizarse un manejo y aprovechamiento sustentable del agua, debemos realizar una planeación integral, considerando que hay que determinar la disponibilidad de agua específica para cualquier nivel de diseño de obras hidráulicas, separando de los recursos hídricos el uso consuntivo del agua, considerando la cantidad de población por continentes, región, país, estado y municipio.

Para lo anterior los recursos hídricos asumen el proceso de formación de los escurrimientos en las cuencas hidrológicas y se suman los escurrimientos importados de las cuencas compartidas con otros países, regiones, estados o municipios. Para que la disponibilidad de agua específica sea significativa antes de su uso, como la cantidad de agua per cápita, es muy importante considerar el crecimiento poblacional, debido a que también crece el uso consuntivo del agua, por tanto, el valor del volumen de disponibilidad de agua decrece.

Como punto de partida consideramos el año de 1995, de donde podemos notar que la diferencia de disponibilidad de agua fue de 170 a 180 mil m<sup>3</sup> per cápita por año en las regiones de Alaska, Canadá y/o Oceanía. Para ese mismo período la densidad de población en Asia central y el sur de Europa y África, por cálculos recientes la diferencia es de aproximadamente de 1,200 a 5,000 m<sup>3</sup> per cápita por año. En el norte de África y la península Arábiga la diferencia es de 200 a 300 m<sup>3</sup> per cápita por año.

La disponibilidad de agua de 2000 m<sup>3</sup> per cápita por año, es muy baja y hay que decir que menos de 1000 m<sup>3</sup> per cápita por año, es simplemente catastrófica. Con estos valores de disponibilidad, se tienen problemas muy serios como para poder soportar el desarrollo de los centros de población, la industria, la agricultura y otros usos.

Los índices de disponibilidad específica de agua [De] varía en los siguientes rangos, para el caso de una [De= (igual o < a 1) ], tenemos una situación catastróficamente baja; para una [De] = (1.1 a 2.0) tenemos una situación muy baja; para una [De = (2.1 a 5.0) ], es una situación baja; para una [De = (5.1 a 10.0) ], es una situación media; para una [De = (10.1 a 20.0) ], es una situación alta y finalmente para una [De = (> a 20.0) ], se presenta una situación muy alta.

Las acciones que permitirán paulatinamente revertir este proceso, se refieren a la protección de los recursos hídricos, una disminución considerable del uso consuntivo de agua principalmente en las zonas de riego y la industria, la reducción total de las descargas de aguas residuales, promoviendo su tratamiento y reusó, optimizar la regulación de los escurrimientos en forma estacional de largo plazo, mayor uso de las aguas saladas y salobres, influir en el proceso de formación de las precipitaciones, un mayor almacenamiento de agua en lagos, lagunas, acuíferos someros y profundos, glaciares, así como una redistribución territorial de los recursos hídricos.

Se han iniciado trabajos de evaluación de transferencias de agua de una cuenca hidrológica a otra en los años sesenta y setentas. Al mismo tiempo el conocimiento sobre el cambio climático en el planeta, nos presenta grandes dificultades que deberán considerarse en estos proyectos, ya que estos cambios climáticos pueden cubrir inmensas superficies, inclusive enormes cuencas como las del océano atlántico, océano pacífico y otros. Por tal motivo se presenta la incertidumbre respecto a los posibles cambios climáticos regionales lo cual complica la planeación de las obras hidráulicas que se requieren para el presente y futuro.

La redistribución territorial de los escurrimientos superficiales deberá entenderse, como la transferencia de escurrimientos, en su forma más amplia, es decir como la transferencia de



volúmenes de agua de cualquier fuente superficial (ríos, embalses, lagos, estuarios [con agua dulce o bien mezclada "dulce-salobre"]), su conducción a través de los ríos, canales túneles y acueductos y diversos sistemas de bombeo, para entregar el agua hasta donde esta se demanda.

A todo un conjunto de infraestructura de obras hidráulicas para transferir cualquier volumen de agua, se le considera como un Sistema de Transferencia de Escurrimientos de Agua ("STEA").

Para un manejo más eficiente de los recursos hídricos, a través del tiempo el hombre ha venido efectuando diverso tipo de obras hidráulicas, con objeto de una redistribución de los recursos hídricos para aprovechar el agua de los lagos, ríos y otras fuentes de abastecimiento de agua, para aplicarse en la agricultura, abastecimiento de agua a centros de población y transporte fluvial e industrial, generación de Hidroenergía.

Para una mayor factibilidad de las obras, se han realizado y se realizan investigaciones hidrológicas relacionadas con la redistribución territorial de los escurrimientos, también en forma simultánea deben realizarse pronósticos de una posible influencia sobre el medio ambiente, evaluando los costos socioeconómicos correspondientes, debiendo sistematizar toda una gama de criterios (indicadores) que nos permitan evaluar cada alternativa de los "STEA".

La transferencia de escurrimientos en una misma cuenca hidrológica, así como la redistribución territorial de los escurrimientos al interior de una misma cuenca, a la cual descargan aportes de cuerpos de agua superficiales, lagos, esteros y al mar, localizados dentro de sus límites. Para este tipo de transferencias, es característico el uso de los recursos hídricos en actividades hidroeconómicas, sus descargas de aguas residuales también se reciben en la misma cuenca, gran cantidad de ejemplos similares se tienen prácticamente en todas partes del mundo.

Las transferencias de escurrimientos entre cuencas hidrológicas, se relacionan con el tipo de transferencias regionales, al respecto podemos mencionar que la redistribución territorial de los escurrimientos se da a partir de un análisis climático e hidrológico entre una cuenca o más, ya que debemos estimar la cantidad de volumen de agua que se puede transferir sin daños a la cuenca donante. Adicionalmente participan otro tipo de criterios, como el administrativo, socioeconómico, ecológico y legal. La longitud de las transferencias es muy variable desde unas cuantas decenas de kilómetros, hasta más de mil kilómetros. Transferencias de este tipo, se tienen ejemplos en muchas partes del mundo.

Por las condiciones físico-geográficas en las regiones hidrológicas, de donde se tomarán los escurrimientos que se desean transferir hacia otras regiones hidrológicas, les podemos denominar transferencias interregionales.

Los tipos de transferencias requieren una clasificación, refiriéndolos a unos indicadores que consideren los resultados obtenidos por la transferencia anual de agua dado en  $\text{Km}^3$  anuales, a todo lo largo de la línea de conducción de dicha transferencia en kilómetros. ( $W \times L = \text{Km}^3/\text{año} \times \text{Km}$ ). Si tomamos en cuenta estos indicadores podremos efectuar una clasificación de las transferencias de agua.

Los métodos y líneas de evaluación de diversos escenarios, las diversas fases del agua en el mundo, están íntimamente relacionados con el proceso del ciclo hidrológico, en consecuencia cualquier cambio significativo de cualquiera de los elementos del ciclo hidrológico, tal es el caso de los escurrimientos de agua de un río, puede afectar a otros de sus elementos, como la evaporación de la superficie terrestre y el reingreso de humedad a la atmósfera; la acumulación de agua en los acuíferos, cuerpos de agua interiores, mares, evaporación de los cuerpos de agua superficiales. Los recursos hídricos, la humedad del territorio, se encuentra íntimamente ligados a los procesos térmicos, y su relación determina toda la diversidad de zonas y paisajes existentes en la tierra.

Deberán implementarse medidas de conservación y remediación que nos permitan mejorar la calidad del agua superficial y subterránea, estimular el desarrollo económico, la cultura respecto al uso eficiente y racional en todas las actividades hidroeconómicas de la sociedad, tales como agricultura con sistemas de riego modernos y eficientes, el suministro de agua a centros de población y zonas rurales, la industria, acuicultura, la Hidroenergía, la recreación, el control de avenidas y el control de la contaminación.

El control de la contaminación es el más importante, debiendo aplicar leyes y controles más estrictos, para un uso, manejo y aprovechamiento integral de los recursos hídricos, poder pronosticar este comportamiento de todas sus variables, tanto hidrológicas, así como hidroeconómicas relacionándolas de tal manera que se pueda efectuar una planeación y desarrollo de las diversas ramas de la economía en forma sustentable y sostenible.

Para evaluar la factibilidad de las alternativas seleccionadas de "STEA", se emplea el principio económico-ecológico, en correspondencia a la comparación de las alternativas técnicas de los proyectos, en consecuencia se deberán cumplir los siguientes criterios, determinar los menores efectos que incidan directamente al medio ambiente y la economía de la región donadora, determinar la posibilidad de poner en operación las obras en los tiempos programados, bajo las condiciones de crecimiento del uso, manejo y aprovechamiento del agua en las regiones donde se requiere la exportación del agua, los proyectos deberán tener bajos costos de energía eléctrica para el bombeo de agua y minimizar la indeterminación, durante la evaluación de posibles consecuencias y costos de las obras programadas.

En la medida en que se van agotando los recursos hídricos, va creciendo el costo del agua, por tanto, se incrementan los conflictos por estos recursos, asimismo por la tenencia de la tierra. La redistribución territorial de los recursos hídricos, en la mayoría de los casos, se enfrentan ante la oposición de las regiones donadoras de agua, aun cuando reciban beneficios sociales y económicos. Lo anterior se explica por la indefinición de las posibles consecuencias ecológicas, así como la tendencia de desarrollo económico en escenarios de escasez de agua en años extremadamente bajos, así como la solución de problemas muy complejos, costo-beneficio, derechos y obligaciones de todas las partes involucradas.

Finalmente es deseable primeramente optimizar, eficientar y maximizar los recursos hídricos y su infraestructura hidráulica de una cuenca hidrológica, antes de pensar en la posibilidad de iniciar cualquier tipo de transferencia de escurrimientos de agua entre cuencas y regiones hidrológicas.

## 8 Bibliografía

Agua y Sociedad "Una historia de las obras hidráulicas en México.- SARH", México 1988

Alekseivskiy N.I y Gladkievich G.I. Los recursos hídricos en el mundo en Rusia, en los últimos 100 años, pág. 114-145 del anuario analítico, Rusia en el mundo que nos rodea 2003, Moscú, editorial MNEPY 2003, 336 pág.

Andrianov B.G.. "Cálculos hidrológicos para el diseño de obras hidrotécnicas de pequeña y mediana escala". Leningrado, Hidrometeoizdat 1957.

Aron G. White E.L.- Coelen S.P.. "Feasibility of inter basin water transfer", Water Resours. Bull 1977, vol. 13, No5 pág. 1021-1034.

Avakian A.B. y otros. "Presas de almacenamiento en el mundo". Moscú, Nauka 1979, 272 p.

"Balance Hidrológico Global y los Recursos Hídricos en el Planeta". Leningrado, Hidrometeoizdat 1974, 638 p.

Bastanzshoglo A.A., Voropaev G.V., Ismailov G.J.. "Suministro de información para el modelo matemático para un sistema unificado del país de proyectos hidroagrícolas". Revista recursos hidráulicos. Moscú 1980, No6, pag. 5-29.

Bekker A.P.. "Water use in South Africa and estimated future needs". Civ. Eng. S. Afr. 1982, vol.24, No12, p. 653-666.

Berezniev A.C. Sistemas hidrotécnicos para la transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas "Montañas de Nieve". Australia. Obras hidrotécnicas. Moscú 1982, No2 pag. 53-56.

Biswas A.K.. "North American water transfer: on everview". Proc of the Task Force Meet: Interregional water transfer. Proyects and problems.- Oxford 1978. pag. 79-90.

Biswas A.K.. "Long distance water transfer": the Chinese plans Internat. J. Phys. Biolo.& Human Geoset and their Applic in Env. Plan an Ecol.- 1982, vol. 6, p. 481-487.

Biswas A.K.. "Interregional water transfer in China". Development Cooperation. 1983 vol. 4, p. 15-16.

Biswas A.K. (ed.). "Systems Approach to Water Management". Mc. Graw – Hill book Company. New York, 1976.

Budyko M.I. "El clima en el pasado y en el futuro". Leningrado Hidrometeoizdat 1980, 351 pag.

Budyko M.I., Pivovarova Z.I. Influencia de las erupciones volcánicas, sobre la radiación solar entrante a la superficie terrestre.- Moscú 1967. Editorial Meteorología e Hidrología, No. 10, paginas 3-7.

Buras N. "Scientific Allocation of Water Resources". American Elsevier Publishing Co. Inc. New York, 1975.

Burke J. III and Heney J.P. "Collective decision Making in Water Resources Planning". Lexington Books. D.C. heath & Company Lexington, Mass, 1975.

Burtziev I.I., Mazin I.P., Chernikov A.A. "Manejo de la distribución de los recursos hídricos bajo la influencia de los procesos de problemas de desarrollo hidroeconómicos". Moscú 1981, pag. 17-20.

"California water war crests". Eng. News Res. 1982, vol. 208, No1, pag. 22-23, 25.

Ciriani T.A., Meione T.A. and Wallis J.R. (ed.) "Mathematical Models for Surface Water Hydrology", John Wily & Sans Ltd. London 1977.

Chandra S., Sinja K.P. "Estudios sobre los cambios en las aguas subterráneas en la cuenca del río Gonti-Caliani", debido al proyecto Sarda-Sajaiak / Aspectos específicos de los cálculos hidrológicos para los proyectos hidroagrícolas: materiales del Congreso Internacional Simposio. Leningrado 3-7 de septiembre de 1979. Hidrometeoizdat. Informe de la UNESCO 1981, 711 p.

Chibatariov A.I. Hidrología General "Hidrología Continental". Leningrado, Hidrometeoizdat 1975, 543 p.

Chokin Sh.Ch.. "Problemas del agua en Asia Central". Revista Recursos Hídricos 1974, No6, pág. 3-10.

Deininger R.A. (ed.) "Models for Enviromental Pollution". Control Ann Arbor Science Publisherrs, Inc. Ann Arbor, Mich. 1973.

Dirección General de Seguimiento y Control de Obras Hidráulicas; "Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste", SARH, México, 1988.

Dzshamalov R.G., Zektzer I.S., Miesjetiele A.V. "Escurremientos subterráneos y su descarga a la plataforma marina". Moscú, Nauka 1977, 162 p.

Dzerdzeevskiy B.L., Mecanismo de circulación en la atmosfera del polo norte en el siglo XX.- Del Libro Documentos de Investigación Meteorológica. Moscú Instituto de Toda Rusia de Investigación de Información Técnica de la Academia de Ciencias "VINITI", 1968. 240 pág.

"Efectos en el clima por el incremento de la cantidad de bióxido de carbono emitido a la atmósfera". Encuentro binacional URSS-USA sobre los estudios realizados respecto a los efectos climáticos por el incrementó de bióxido de carbono. Leningrado 1981, 15-20 de junio.

Elige R.K. "Variación global del intercambió de humedad", Moscú, Nauka 1985, 247 p.

Elpiner L.I., Vasiliev V.S. "Los recursos hídricos los usos del agua su actualidad y perspectivas en USA". Revista Recursos Hídricos, Moscú 1983, No1, pág. 163-172.

Elpiner L.I., Vasiliev V.S. "Problemas sobre el agua potable en USA". Moscú, Nauka 1983, 168 p.

"Estadísticas del Agua en México", Comisión Nacional del Agua, México 2018.

Fashevskiy B.V. "Bases metodológicas para la evaluación ecológica, que permitan determinar el volumen permisible de transferencia de escurrimientos". Tesis Simposio Internacional, sobre aspectos específicos de la hidrología, cálculos para el diseño hidroagrícola. Moscú 1979, 474 p.

Fisher D.E. "The federal enviroment protection procedures". Federal Law Reviw 8. No2, pág. 164-193.

Fiurin R. "Problemas del agua en el Planeta". Leningrado Hidrometeoizdat 1966, 256 p.

Frolova L.G. "Los recursos hídricos en Australia y Oceanía". Moscú 1974, pag. 123-142.

Gatillo P.D., Filipovich I.M. "Propuesta para el cálculo del gasto ecológico en los ríos para la protección del medio ambiente". Manejo Integral de los Recursos Hídricos. Moscú 1977.- Vol. 5, pág. 15-54.

Gerardi I.A. "Problemas por la transferencia de escurrimientos en los ríos del norte de Siberia, Asia Central y Kazajistán". Del Libro Problemas por la redistribución territorial de los escurrimientos superficiales. Moscú, Soiusvodproekt 1978, No 49, pág. 40-57.

Gerardi I.A. "Sistema unificado para la regulación de los escurrimientos por su redistribución territorial". Revista Hidrología y Mejoramiento de los suelos, Moscú 1975, No7, pág. 22-28.

Golubev G., Biswas A.K. "Interregional water transfer". Proc. of the Task Force Meeting: Interregional water transfers. Proyects and problems 11-14 oct. 1977. Oxford, 1978, p. 59-61.

Gordon J. Young, Jones C.I. Dooge and John C. Rodda. Global Water Resource Issues.- Cambridge University Press, New York, 1994.

Gray B.E. "A primer on California water". Law Arizona Law Rev. Vol. 31, 745-781, 1989.

Gray B.E. "Water transfers in California 1981-1989". The water transfer process as a management option for meeting changing water demands. Mac Downnell L.J. principal investigator vol. II, V.S. Geological Survey Grant a Word No 14-08-001-G-1538. Natural Resources Law Center University of Colorado, Boulder Colo.

- Green K.A. "A perspective on Australian water resources to the year 2000"/ Inst. Eng. Austral. Nat. Cont. Publ 1984, No84-1-p.283-290.
- Grin G.V. "Evaluación sobre el volumen máximo permisible que se puede transferir del río Obí". Seminario Influencia de las transferencias de escurrimientos entre cuencas hidrológicas, sobre el medio ambiente en el territorio europeo y el territorio de Asia central. Moscú 1975, pág. 24-25.
- Grishkov S.A. "Desarrollo agrícola en el mundo". Revista Hidrotécnica y Mejoramiento de suelos Moscú 1969, No1, pág. 107-114.
- Haimes Y.Y., Hall W.A. and Freedman H.T. "Multiobjective Optimization in Water resources Systems": The Surrogate worth Trade- off Method, Elsevier, Amsterdam 1975.
- Haimes Y.Y. and Hall W.A. "Multiobjectives in Water Resource Systems Analysis": The Surrogate Worth trade off Method Water Resources Research, Vol. 10 No4, 1974, pp 615-624.
- Hall W.A. and Droenp J.A. "Water Resources Systems". Engineering, Mc Graw Hill Book Company, New York 1970.
- Higham S. "Water transfer the grand North American debate". World Water 1986, vol. 9, No4, p. 17-18.
- Ivleva T.N. "México sus recursos hídricos y su desarrollo económico". Moscú 1973, Nauka 210 p.
- James A. (ed.) "Mathematical Models in Water Pollution Control", John Wiley & Sans, Inc, New York, 1978.
- James L.D., and Lee R.R. - Economic of Water Resources Planning, Mc Graw hill Book. Company, New York 1971.
- Jonson K.E., Milner F.C. "Mass transfer of water into inland of Australia for irrigation and power by the Snowy Mountains" Hydro-Electric Scheme. X Int. Congress on Irrigation and Drainage, vol. 7 Special. Athens: ICID, 1978, p. 115-138.
- Kalinin G.P. "Problemas de la Hidrología Global". Leningrado, Hidrometeoizdat 1968, 378 p.
- Kalinin G.P., y Shiklomanov I.A. "Manejo de los Recursos Hídricos en el Planeta". Del Libro Balance hidrológico de los recursos hídricos en el Planeta. Leningrado 1974, pág. 575-605.
- Klige R.K. Cambios en el intercambio de humedad global. Editorial "Nauka" 1985, 248 p.
- Kononova N.K.- Clasificación de los mecanismos de circulación del polo norte por el método de Dzerdzeevskiy. Moscú 2009, editorial Vaientejinzdat, 372 pág.
- Konstantinov A.R. "Evaporación en la naturaleza". Leningrado, Hidrometeoizdat, 1965, 532 p.
- Kritzkiy S.N. y Menkel M.F. "Fundamentos para el manejo de los escurrimientos". Moscú, Nauka 1981, 249 p.
- Kritzkiy S.N. y Menkel M.F. "Fundamentos hidrológicos para el manejo de sistemas hidroeconómicos", Moscú, Nauka 1982, 226 p.
- Kuchmient L.S. "Modelación de los procesos de formación de los escurrimientos en las cuencas hidrológicas". Leningrado, Hidrometeoizdat 1980.
- Kuchmient L.S., Gelfan A.N. and Demidov V.N. Scaling and regionalization of parameters of a physically based model of runoff generation in cold regions. Workshop «Regionalization of parameters of hydrological and atmospheric land surface model. XXII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Birmingham, 1999, p.15.
- Kuchmient L.S., Muzylev E.L. Parameterization of the hydrological cycle for the GCM with account for landscape heterogeneities Proc. XXIV General Assembly of EGS Hagne, Netherlands, 19-23 Apr. 1999 Symp. OA17, p. 253.
- Kuchmient L. S., A. N. Gelfan, V. N. Demidov. Application of dynamic-stochastic models of runoff generation for estimating extreme flood frequency distribution. In: Water Resources Systems—Hydrological Risk, Management and Development (Proceedings of symposium HS02b held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003). No. 281, pp. 107-114.

- Lamb H.H. Climates and circulation regimes developed over the Northern Hemisphere during and since the last Ice Age. - In: Symp. On dynamical climatology. Leningrado, 1970, p.312.
- Levintanus A.Y. "Problemas debido al desarrollo hidroeconómico en la India". Academia de Ciencias de Rusia. Moscú 1984, No4, pág. 53-60.
- Lind G. "El Agua y la ciudad".- Leningrado, Hidrometeoizdat 1984, 68 p.
- Liu Changming. "The quantitative features of China's water resources – an overview". Reports on Natural Resource Systems. No 38. - Tucson (Arizona), 1983. - p. 32.
- Liu Changming, Zuo Dakang. "Impact of South-to-North water transfer upon the natural environment". Long distance water transfer: A Chinese study and international experiences. Dublin, 1983. p. 169-180.
- Loaiciga Hugo A., Valdes Juan B., Richard Vogl, Harry Schwars "Global Warning and the hydrologic Cicle". Journal of Hydrology 174 (1996) 83-127.
- Loucks D.P., Stendinger J.R., Haith D.A. "Water Resource Systems Planning and Analysis". Englewood Cliffs, New Jersey Prentice- Hall 1981, 379 p.
- Lund J.R. Associate Member, ASCE, and Morris Israel, Student Member, ASCE. "Water Transfers in Water Resource Systems". Journal of Water Resources Planning and Management, p.193-204. AA-0168, March1995.
- Lund J.R., Israel M., and Kanazawa R. "Recent California water transfers: emerging option in water management". Rep. No 91-1. Center for Environmental and Water Resource Engineering. Dep. of Civ. and Envir. Engrg., University of California, Davis. Cal. 1991.
- Lvovich M.I. "Los recursos hídricos en el mundo y su futuro".- Moscú, Misil 1974, 263 p.
- Lvovich M.I., Karankievich N.I.. "Pronóstico del uso y protección de los recursos hídricos en la URSS al año 2000". Noticias científicas de la Academia de Ciencias de Rusia. 1Moscú 1971, No2, pág. 35-48.
- Lvovich M.I., Karankievich N.I.. "Evaluación de los cambios probables en el medio ambiente de las regiones donde, se tomará el agua para su transferencia y distribución". Seminario Transferencia de escurrimientos y efectos por su distribución en el medio ambiente. Moscú 1982, pag. 6-34.
- Micklin P.P. "NAWAPA and two Siberian water diversion proposes". Soviet Geogr Review and Translation 1977, vol. 18, No 2. 81 p.
- Mitchel J.M. The effect of atmospheric aerosol son climate with special reference to temperature near the Earth' surface. - J. Appl. Meteorol., 1971, vol. 10 No 4. P. 71-85.
- Olvera S.J.J.D. "Problemas de los Recursos Hídricos en México", Universidad Rusa de Amistad de los Pueblos, Moscú, Rusia 1976.
- Olvera S.J.J.D. "Balance Hidroenergético de México", Universidad Rusa de Amistad de los Pueblos, Moscú, Rusia 1977".
- Olvera S.J.J.D. "Aplicación de los Cascarones Flexibles de Contención en las Obras Hidráulicas (Fabry Dams)", XI Congreso Nacional de Ingenieros Civiles, México, D.F., 1979.
- Olvera S.J.J.D. "Control y Explotación de los Recursos Hídricos de los ríos Grijalva y Usumacinta", Instituto de Problemas del Agua, Academia de Ciencias de Rusia, Moscú 1983.
- Olvera S.J.J.D. "Sistema de cómputo para la localización y ubicación optima de estaciones climatológicas en el estado de Campeche", XI Congreso Nacional de Hidráulica, octubre de 1990.
- Olvera S.J.J.D. "Panorama Geohidrológico e Hidrogeoquímico del estado de Campeche". Congreso Nacional de Aguas Subterráneas. Torreón Coahuila 21-23 de noviembre del 2001.
- Olvera S.J.J.D. "El río Palizada sus características y problemática". Revista del Centro Estatal de Emergencias de Campeche, octubre-diciembre de 1998.
- Olvera S.J.J.D. "Dinámica del Balance Hídrico en el Planeta". Revista del Centro Estatal de Emergencias de Campeche, enero-marzo de 1999.

Olvera S.J.J.D. "Inundaciones en Zonas Urbanas". Revista del Centro Estatal de Emergencias de Campeche, abril-junio de 1999.

Olvera S.J.J.D. "Métodos de Percepción Remota en la Hidrometeorología". Revista del Centro Estatal de Emergencias de Campeche, diciembre de 1999.

Olvera S.J.J.D. "El peligro de los deslizamientos de macizos de tierra y roca. Escurrimientos sólidos en las cuencas hidrológicas de México, su origen, medidas de prevención y mitigación". Revista del Centro Estatal de Emergencias de Campeche, julio del 2001.

Olvera S.J.J.D. "Estudio de factibilidad para determinar las necesidades de infraestructura hidráulica de los sistemas de agua potable y obras de saneamiento integral para Conservar y Mantener el Saneamiento de la Cuenca del Río Atoyac, así como Proyectos Alternativos que Propicien el Desarrollo Económico y Social" Oaxaca diciembre de 2009.

Panin G.N., Dzuba A.V., Osipov A.G. 1993. "About hydrological consequences of local and global climate changes." - Global and Regional Issues in Environmental Hydrology - The Second USA/CIS Joint conference on environmental hydrology and hydrogeology, USA.,1993 p.39-42.

Panin G.N., Dzuba A.V., Osipov A.G. 1993 "Stochastic modeling of the hydrometeorological characteristics and interaction parameters changes." In a book "Interaction of the land water with the atmosphere", "Nauka", Moscow, p.63-80 (in Russian).

Panin G.N., Dzuba A., Osipov A.G. 1993 "Analysis of changes of local and integrated interactional characteristics." In a book "Interaction of the land water with the atmosphere". Nauka, Moscow, p.80-95 (In Russian).

Panin G.N., Dzuba A.V., Osipov A.G. 1994 "Regional changes of processes of the land waters - atmosphere interaction as a factor of the global climate change". In a book "Land waters: problems and solutions.", "Nauka", Moscow. P.112-144 (in Russian).

Pearsons, the Ralph M.Co. "NAWAPA, North American water alliance". Los Ángeles 1967, 50 p.

"Presa Luis Donaldo Colosio Murrrieta" "Huites" Choix, Sinaloa, CNA, Gerencia de Información y Participación Ciudadana, Primera Edición, México 1994.

"Presas del mundo". Moscú. Ed. Nauka 1979, 288 p.

"Programa Nacional Hidráulico 20014-2018", México.

"Programas Hídricos Regionales 2002-2006", México.

Quinn F.J. "Area of origin protectionism in Western waters"/Social Sci. Ser., No6 Ottawa, 1973. 95 p.

Quinn F.J. "Water transfers Canadian style". Canada Water Resource. J. 1981, vol. 6, N 1-p. 64-76.

Ratkovich D.Y. "Fluctuación multianual de los escurrimientos superficiales". Leningrado, Hidrometeoizdat 1976.

Remolina N.A., Kalinin G.P.. "El uso del agua y su influencia sobre los recursos hídricos continentales y el intercambio de humedad en el planeta". Moscú 1975, pág. 24-40.

Remolina N.A., Elige R.K. "Investigación sobre los recursos hídricos en Europa". Revista Recursos Hídricos Moscú 1979, No4, pag. 162-175.

Rodda G. On the problems of assessing the World water resources. In: Geosci. and water resource environment data model. Berlin - Heidelberg. 1997. P. 14—32.

Sabjerval R.K. "Cambios en el balance hídrico y humedad, debido a la influencia de la redistribución interregional de los recursos hídricos". Congreso XXIII de Geografía. Simposio del programa Hidrológico Internacional.- Leningrado 1976. pág. 46-56.

Sergin S.Y. "Consecuencias hidroclimáticas en las regiones por la transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas". Seminario Influencia de las transferencias de escurrimientos en zonas áridas. Moscú 1982, pág. 35-55.

Shetz G.I. "Variaciones Históricas de los escurrimientos". Edit. Niedra. Leningrado, Hidrometeoizdat 1978, 84 p.

- Shiklomanov I.A. "Evaluación y pronóstico sobre los cambios hídricos, por efecto de las actividades antropogénicas". Revista recursos hídricos y medio ambiente. Moscú 1977, pág. 47-58.
- Shiklomanov I.A. "Efectos antropogénicos sobre los recursos hídricos en las corrientes superficiales". Leningrado, Hidrometeoizdat 1979, 286 p.
- Shiklomanov I.A., Niezshijosvskiy P.A. y Markova O.L. "Redistribución de los recursos hídricos entre cuencas hidrológicas y sus efectos sobre el medio ambiente y los recursos económicos". Leningrado 1980, pág. 3-23.
- Shiklomanov I.A. y Sokolov A.A. "Redistribución de los recursos hídricos entre cuencas hidrológicas". Leningrado Hidrometeoizdat 1980, 360 p.
- Shiklomanov I.A. "Large scale water transfer". Facets of Hydrology. 1985, II p. 345-385
- Shiklomanov I.A. y Markova O.L. "Problemas de suministro y transferencia de escurrimientos en el mundo". Leningrado, Hidrometeoizdat 1987, 289 p.
- Shiklomanov I.A. Scientific Leader and Editor State Hydrological Institute (SHI) St. Petersburg, "WORLD WATER RESOURCES AND THEIR USE a joint SHI/UNESCO product 1999".
- Shiklomanov I.A. (ed.) (1997). Assessment of water resources and Water availability in the World. UW, SEI, 88 p.
- Shiklomanov I.A. (1998). World Water Resources: a new Appraisal and Assessment for the 21 Century. UNESCO, 38 p.
- Shiklomanov I.A. and Rodda John C. "World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century". International Hydrology Series. Cambridge University Press. UNESCO 2003.
- Sidarenko N.S. "La atmósfera y el movimiento rotatorio de la tierra". Serie El hombre y los desastres naturales. Moscú 1984, pág. 25-27.
- Sinitzin V.M. "Introducción a la Paleoclimatología". Leningrado. Nedra 1967, 232 p.
- Svanidze G.G. "Modelación matemática de series hidrológicas". Leningrado, Hidrometeoizdat 1977.
- The Hydrological Cycle and Human Impact on it (2001) The Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), OUR FRAGILE WORLD Challenges and Opportunities for Sustainable Development. Volume 1, Paris-London. Pp. 43-64.
- Timoshev I.E. "Transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas en Canadá". Noticias científicas de la Academia de Ciencias de Rusia. Moscú 1982 No6, pág. 127-135.
- Timoshev I.E. "Evaluación cuantitativa de los recursos hídricos en USA". Noticias científicas de MGU. Serie 5, Moscú 1983, No1 pág. 67-74.
- Timoshev I.E. "Experiencias en Canadá sobre las transferencias de escurrimientos entre cuencas hidrológicas". Revista Geografía y Recursos Naturales. Moscú 1983, pág. 181-186.
- Timoshev I.E. "Problemas en USA por la transferencia de escurrimientos". Noticias VGO. Moscú 1983, Tomo 115, edición 3, pág. 228-233.
- "Transferencia de escurrimientos entre cuencas hidrológicas". Leningrado 1980 Hidrometeizdat, 376 p.
- Velikanov A.L., Poizner V.I. "Calculo y análisis estadístico para optimizar los parámetros característicos de los sistemas hidroeconómicos". Revista Recursos Hídricos, Moscú 1976, No4.
- Vasilieva I.G. "Crisis hídrica en los Estados Unidos de Norteamérica". USA economía, política e ideología. 1982 No1, pág. 99-109.
- Vendrov S.L. "Problemas por la transformación de los sistemas hidrológicos en la ex Unión Soviética". Leningrado, Hidrometeoizdat 1979, 207 p.
- Vinikov C.V., Groizmen P.Y. "Análisis empírico del CO<sub>2</sub>, sobre los cambios medios anuales de la temperatura ambiente en el hemisferio norte". Meteorología e Hidrología. Moscú 1981, No11 pág. 30-43...



Vinnikov K.V., Golitzin G.S. y Drazdov O.A. "Cambios del clima global por efectos antropogénicos". Meteorología e Hidrología.-Moscú 1981. No8, pág. 5-14.

Vitels L.A. Meteorología Sinóptica y heliofísica. Leningrado Idrometeoizdat, 1977, 255 pág.

Voropaev G.V. "Sistema unificado de sistemas hidroagrícolas". Revista Recursos Hídricos, Moscú 1976, No6, pág. 99-110.

.- Oxford,

Voropaev G.V. "Organización de las investigaciones científicas con motivo de los problemas de la redistribución de los recursos hídricos". Revista Recursos Hídricos, Moscú 1976, No3, pág. 3-12.

Voropaev G.V. "Problemas por la redistribución de los recursos hídricos en la ex - URSS, y su modelación matemática". Revista Hidrotécnica y Mejoramiento de Suelos, Moscú 1976, no9, pág. 5-13.

Voropaev G.V., Miestiechkin V.B.. "Procesos hidrológicos espaciales y temporales, por los requerimientos de humedad en las superficies agrícolas de la ex - URSS". Revista Recursos Hídricos, Moscú 1978, No3, pag. 35-48.

Voropaev G.V. "The scientific principles of large-scale areal redistribution of water resources in the UUSR". Proc. of the Task Force Meeting: Interregional water transfers. Projects and problems. 11-14 Oct – 1977.- Oxford, 1978.

Voropaev G.V., Ismailov G.J., fiodorov V.M.. "Principios metodológicos para la determinación de modelos de simulación matemática y experiencias de su aplicación en los sistemas hidroeconómicos de las cuencas hidrológicas de los ríos Amu Daria y Sir Daria". Moscú, Soiusvodproekt 1978, No 49, pág. 40-57.

Voropaev G.V. "Aspectos hidrológicos y técnicos para una distribución territorial de los recursos hídricos en la ex – URSS". De la conferencia Problemas para el manejo de las zonas desérticas. Moscú 1979 No3, pág. 3-9

Voropaev G.V., Gofman K.G., Koshovetz B.I., Rainin V.I.. "Fundamentos para la evaluación económica de los proyectos y alternativas hidroagrícolas, para normar criterios de selección de alternativas". Revista Recursos Hídricos, 1980, No2, pág. 92-100.

Voropaev G.V., Miestiechkin V.B.. "Fundamentos físico-geográficos para el balance hidrológico". Moscú, Nauka 1981, 136 p.

Voropaev G.V., Gerazimov I.P., Kibalchik A.A. y Karankievich N.I.. "Problemas sobre la distribución territorial de los recursos hídricos en Asia Central". Noticias científicas de la Academia de Ciencias de Rusia. Moscú 1982, No6, pág. 24-27.

Voropaev G.V., Ismailov G.J., y Fiedorov V.M.. "Investigación y evaluación del funcionamiento de grandes sistemas hidroagrícolas". Revista Recursos Hídricos, Moscú 1983 No2 pág. 3-31.

Voropaev G.V., Ismailov G.J., Fiodorov V.M.. "Modelación matemática de sistemas hidroagrícolas en zonas áridas de la ex – URSS". Moscú, Nauka 1984, 304 p.

Voropaev G.V. y Avakian A.B.. "Reservoirs and Their Environmental Impact". (editors of the Volume: Corresponding Member G.V. Voropaev and Doctor of geographical sciences A.B. Avakian). "Las presas de almacenamiento y su influencia en el medio ambiente". Programa de la UNESCO "El hombre y la Atmósfera". Moscú, Nauka 1986, 359 p.

"Water Transfer in Water Resources-Systems". By Jay R. Lund, Associate Member. ASCE and Morris Israel, Student Member, ASCE Journal of Water Resources Planning and Management 1993.

World Water Resources and their Use // International Hydrological Programme (UNESCO'S intergovernmental scientific co-operative programme in water resources)

<[http:// www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml](http://www.unesco.org/water/ihp/db/index.shtml)>

Yevjevich V.M. "Probability and Statistics in Hydrology", Water Resources Publications Fort Collin's, Colo. 1972.

Zaim I.S. "El riego en el mundo". Hidrotécnica y Mejoramiento de suelos 1974, No.9, pág. 102-106.

Zarubaev N.V.. "Manejo Integral y protección de los recursos hídricos". Leningrado. Stroizdat 1979, 223 p.

Zenin A.A., Lebedieva E.M.. "Pronóstico del cambio de la calidad del agua superficial en las regiones, donde se efectúan las transferencias de escurrimiento de agua". Conferencia: Redistribución de los recursos hídricos entre cuencas hidrológicas y sus efectos sobre el medio ambiente y los recursos económicos. Leningrado 1980, pág. 62-75.

Zisik D.T. "Economía en los sistemas hidroeconómicos", Moscú, Coloso 1980, 400 p.