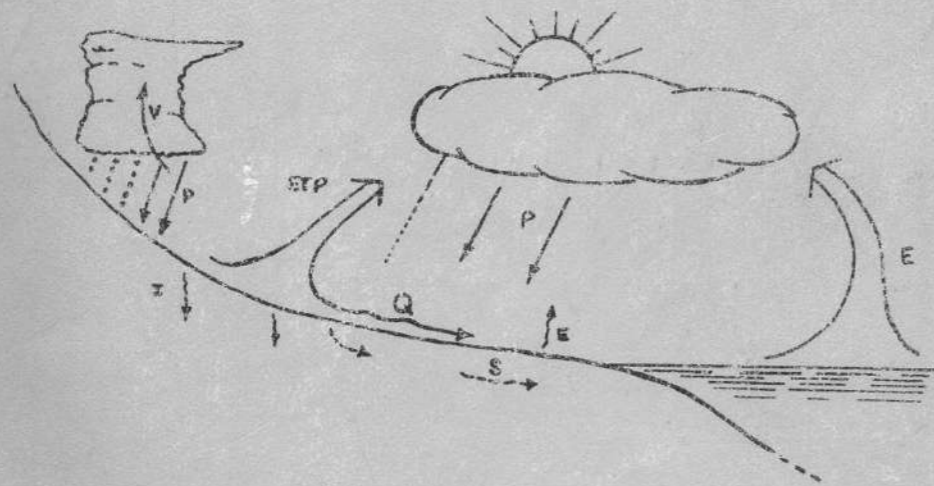


D. F. Campos Aranda

# Procesos del Ciclo Hidrológico



Segunda Reimpresión

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

1992

D. F. Campos Aranda

# Procesos del Ciclo Hidrológico

Ing. Luis Eduardo Mejía Pedrero

Segunda Reimpresión

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

1992

ISBN 968-6194-44-4

ISBN-968-6194-44-4  
0245-92001-A0035

Editorial Universitaria Potosina

Todos los ríos van al mar y el mar  
no se llena; allá de donde vinieron  
tornan de nuevo.

Eclesiastés 1,7

En el curso del año, la cantidad de agua que  
se eleva, será igual o mayor que aquella que  
desciende en los ríos y en el aire.

LEONARDO DE VINCI.

Dedico este trabajo a:

la memoria de mi padre y a mi madre.

Una buena educación técnica produce profesionistas que se distinguen por su capacidad, deseo de superación, calidad ética y otras buenas cualidades. En cambio, una mala educación, les conserva ignorantes y les vuelve holgazanes, mediocres y poco útiles a la sociedad.

Nosotros los profesores tenemos la oportunidad de contribuir en cualquiera de estas dos opciones.

D.F. CAMPOS ARANDA.

## PROLOGO

En los últimos años, el aumento desmedido de la población mundial, ha originado un incremento en el uso y aprovechamiento de los recursos hidráulicos, así como también una gran actividad y profusión de los conocimientos científicos y tecnológicos acerca del agua.

Los recursos hidráulicos superficiales son función de un gran número de factores, entre los principales, se tienen: los climáticos, los geomorfológicos, los geológicos y los hidráulicos; dichos recursos están asociados además, a la incertidumbre o aleatoriedad de la naturaleza. Por lo anterior, para su cuantificación y aprovechamiento se debe recurrir primeramente al acervo teórico y a las metodologías hidrológicas más adecuadas.

Los estudios hidrológicos son indispensables desde el inicio hasta la formulación de un proyecto y aún más, hasta su explotación. Dentro de tales proyectos se tienen: el abastecimiento de agua potable y de riego, la protección contra crecientes, el drenaje, las centrales hidroeléctricas, etc. El dimensionamiento, la seguridad y la correcta explotación de las obras hidráulicas están siempre unidas a una acertada evaluación de los recursos hidráulicos promedio y extremos (avenidas y estiajes), problema que es totalmente del dominio de la hidrología superficial.

Las reflexiones anteriores justifican plenamente el intento de llevar a cabo una obra que trate de compilar los conocimientos y técnicas de la hidrología superficial actualmente utilizadas. Dicha obra he propuesto que esté constituida por tres volúmenes, el primero de ellos, dedicado al estudio de los procesos fundamentales del ciclo hidrológico, abarcando la descripción del mecanismo del proceso, sus técnicas de medición y las metodologías de procesamiento de la información disponible. El contenido propuesto para cada volumen por capítulos, se presenta en la página iii siguiente.

He intentado exponer, en forma concisa, aunque metódica, los conceptos fundamentales y las metodologías de análisis e interpretación de la moderna hidrología superficial, siendo una de las características fundamentales del libro la presentación de ejemplos numéricos, completamente resueltos, encaminados a dilucidar los conceptos e ilustrar la aplicación de las metodologías a problemas específicos.

En general la obra está orientada hacia el estudiante de la cátedra de hidrología superficial a nivel profesional y de posgrado, pero además puede ser utilizada como manual de consulta por el ingeniero especializado en hidrología o planeación y diseño de obras hidráulicas.

Considero que las horas de trabajo dedicadas a la realización de este volumen, habrán valido la pena, si este libro contribuye de alguna forma al mejor uso de los recursos hidráulicos, los cuales continuamente se ven amenazados, por la ignorancia y la desidia.

Es mi más sincero deseo, el que este trabajo contribuya a una mayor difusión de los conceptos y técnicas hidrológicas, las cuales son extremadamente importantes en la planeación de obras que aprovechan los recursos hidráulicos.

## AGRADECIMIENTOS

En un libro de estas dimensiones, es difícil mencionar a todas las personas involucradas y todas las referencias bibliográficas utilizadas, pero hasta donde me fue posible, las primeras se citan a continuación y las segundas, en las bibliografías de final de capítulo. Sin embargo, pido disculpas por las omisiones que, obviamente, fueron involuntarias.

El desarrollo y culminación de este trabajo, no hubiera sido posible sin la ayuda de las autoridades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ya que por iniciativa de mi amigo el C.P. Juan M. Martín del Campo, se me asignó parte de mi tiempo de investigación a la elaboración de unas notas sobre Hidrología Superficial, posteriormente dichas notas sirvieron de base en la integración de este trabajo. Por ello, estoy profundamente agradecido con las siguientes personas:

Lic. Guillermo Delgado Robles, Rector de la U.A.S.L.P.  
 Ing. Carlos Santana López, Jefe del Dpto. de Planeación de la U.A.S.L.P.  
 C.P. Juan M. Martín del Campo E., Secretario Administrativo de la U.A.S.L.P.  
 Ing. Carlos Valdéz González, Director de la Esc. de Agronomía de la U.A.S.L.P.

También deseo destacar la ayuda que me brindó el Ing. Enrique Varela Galván, Subdirector Regional de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural de la S.A.R.H., al permitirme utilizar los servicios del Sr. Miguel Ángel Carrillo G., dibujante del Departamento de Estudios, el cual elaboró prácticamente la totalidad de las figuras y tablas que se incluyen en este volumen.

En especial agradezco los comentarios, críticas, sugerencias y revisión ortográfica que llevó a cabo mi amigo el M. en I. Carlos González García, profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. El Ing. González García amablemente fue revisando cada capítulo conforme fueron elaborados, utilizando inmediatamente tal material en sus cátedras de Climatología e Hidrología, práctica que le permitió hacerme interesantísimas observaciones.

Finalmente doy las más sinceras gracias a todos mis amigos y compañeros ingenieros que me alentaron a terminar este trabajo, en especial a aquellos ingenieros que hicieron críticas al trabajo e indicaron los errores ortográficos y de dibujo que fueron corregidos. Con respecto a los errores que aún persisten, agradeceré que se me indiquen, para eliminarlos en futuras reimpresiones.

Septiembre de 1983  
 San Luis Potosí, S.L.P.  
 M E X I C O

DANIEL FCO. CAMPOS ARANDA.

HIDROLOGIA SUPERFICIAL APLICADA

(PLAN GENERAL DE LA OBRA EN VOLUMENES Y CAPITULOS)

VOLUMEN I: PROCESOS DEL CICLO HIDROLOGICO.

1. GENERALIDADES.
2. GEOMORFOLOGIA DE LA CUENCA.
3. NOCIONES DE HIDROMETEOROLOGIA.
4. PRECIPITACION.
5. INTERCEPCION Y ALMACENAMIENTO EN DEPRESIONES.
6. INFILTRACION, LLUVIA EN EXCESO Y HUMEDAD DEL SUELO.
7. EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION.
8. ESCURRIMIENTO.

A N E X O S.

ANEXOS DEL VOLUMEN I:

- ANEXO A: Nociones Fundamentales de Estadística: Probabilidad, Funciones de distribución, Parámetros Estadísticos y concepto y Selección del Período de Retorno.  
 ANEXO B: Funciones de Distribución utilizadas en el Análisis Probabilístico de Precipitaciones y Escurrimientos Anuales y Lluvias Máximas Diarias.  
 ANEXO C: Regresión y Correlación Lineales: Conceptos y Aplicaciones Fundamentales.  
 ANEXO D: Números de la Curva de Escurrimiento (N) de los Complejos Hidrológicos Suelo-Cobertura del U.S. Soil Conservation Service.

VOLUMEN II: DISEÑO HIDROLOGICO DE OBRAS HIDRAULICAS.

1. BALANCES HIDROLOGICOS.
2. GENERACION SINTETICA DE ESCURRIMIENTOS.
3. SEDIMENTACION DE EMBALSES.
4. DISEÑO HIDROLOGICO DE EMBALSES: METODOS SIMPLIFICADOS.
5. DISEÑO HIDROLOGICO DE EMBALSES: METODOS DEFINITIVOS.
6. DISEÑO HIDROLOGICO DE PRESAS DERIVADORAS PARA RIEGO.
7. DISEÑO HIDROLOGICO DE VASOS LATERALES Y TOMAS DIRECTAS.
8. CALIDAD DEL AGUA.

A N E X O S.

VOLUMEN III: ESTIMACION Y CONTROL DE AVENIDAS MAXIMAS.

1. CONCEPTOS Y NORMAS GENERALES.
2. ESTIMACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN CUENCAS RURALES SIN AFOROS.
3. ESTIMACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN CUENCAS RURALES CON AFOROS.
4. ESTIMACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN CUENCAS URBANAS.
5. REGULARIZACION Y TRANSITO DE AVENIDAS.
6. DISEÑO DE EMBALSES DE CONTROL DE AVENIDAS.
7. PRONOSTICO DE AVENIDAS.

A N E X O S.

COMENTARIOS ACERCA DEL AUTOR

El profesor Daniel Fco. Campos Aranda es ingeniero civil, egresado de la Escuela de Ingeniería de la U.A.S.L.P. en diciembre de 1972. En la primera mitad de 1977 realizó cursos de especialización en Hidrología General y en Riego y Drenaje, en el Instituto de Hidrología dependiente del Ministerio de Obras Públicas, en Madrid, España. Durante 1979 y 1980 cursó en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, la maestría en Ingeniería en la rama de Hidráulica, obteniendo el grado en agosto de 1980; además completó los créditos académicos del doctorado en ingeniería. Posteriormente, en el transcurso de dos años sabáticos (1985 y 1986) concluyó el doctorado en el campo de los aprovechamientos hidráulicos, también en la DEPEI de la UNAM, habiendo obtenido el grado en noviembre de 1987 con la tesis 'Modelo Precipitación-Escurrecimiento de Eventos'.

En la UASLP, el Ing. Campos Aranda ha sido profesor de diversas asignaturas -- desde febrero de 1973. Durante 1981 y 1982 trabajó para la Escuela de Agronomía y en la actualidad es profesor de las cátedras de Hidrología Superficial, Agroclimatología y Flujo en Canales en la maestría en Ingeniería Hidráulica y especialidad en Riego y Drenaje. Paralelamente a su actividad docente, el Ing. Campos Aranda se desarrolló en la SARH, desde junio de 1972 hasta mediados de 1988; fue proyectista de obras hidráulicas e hidrólogo de diseño de embalses para riego.

El Dr. Campos Aranda ha publicado 7 ponencias internacionales, 28 nacionales y 6 artículos en la revista Ingeniería Hidráulica; además de 15 informes técnicos, todos ellos disponibles en la Facultad de Ingeniería de la UASLP. En noviembre de 1989 fue distinguido con la medalla Gabino Barreda de la UNAM y a partir de julio de 1991 es Investigador Nacional.

En primer lugar agradezco a los profesores de la asignatura de Hidrología Superficial de diversas Universidades del país, algunos de ellos amigos míos, el haber utilizado la primera edición de estos apuntes como texto de apoyo. También deseo agradecer a los ingenieros especialistas en diseños hidrológicos, las motivaciones y sugerencias que me han hecho para terminar la obra, en su muy ambicioso índice propuesto.

Manifiesto mi gratitud al interés de las autoridades universitarias involucradas en la realización de esta primera reimpresión, muy en especial al Sr. Rector Lic. Alfonso Lastras Ramírez y al Ing. Carlos Valdés González, Jefe de la División de Extensión Universitaria, cuyo apoyo fue totalmente irrestricto.

M. en I. DANIEL FCO. CAMPOS ARANDA.  
ENERO DE 1987.



COMENTARIOS RELATIVOS A LA SEGUNDA REIMPRESION

En primer término, nuevamente deseo agradecer a mis compañeros profesores de la cátedra de Hidrología Superficial de la UASLP y de otras Universidades del país, el haber adoptado estas notas como texto parcial o complementario y por ello haber agotado su primera reimpresión. También agradezco a los hidrólogos activos que las han adquirido para consulta.

Por otra parte, teniendo como objetivo fundamental el disponer a la brevedad de ejemplares, se optó por realizar otra reimpresión, ya que una nueva edición sería muy tardada, dado que cuando menos habría que efectuar cambios a los capítulos y temas ya obsoletos en su mayor parte, tal es el caso de los incisos 6.A sobre la infiltración, 7.B relativo a la evapotranspiración y Anexo B. Otros capítulos, como el primero, requieren definitivamente ser actualizados y en el caso del octavo, complementado por medio de los análisis regionales de estimación del volumen escurrido en cuencas sin aforos. En relación con el resto del material, éste sigue siendo vigente y útil.

Manifiesto mi reconocimiento al interés de las autoridades universitarias involucradas en la realización de esta segunda reimpresión, muy en especial al Sr. Rector Lic. Alfonso Lastras Ramírez y al Ing. Jaime Valle Méndez, Secretario General.

Dr. Daniel Fco. Campos Aranda  
Diciembre de 1991

FE DE ERRATAS.

A continuación cito las principales erratas de tipo técnico, detectadas a la fecha por el autor, pasando totalmente por alto las fallas de mecanografía y de dibujo que son irrelevantes. Nuevamente solicito a los lectores de estas notas el comunicarme todos los errores que se detecten para su corrección en la segunda edición.

PAGINA	REGLON	ECUACION	DICE	DEBE DECIR
3-45	10o.		de la página	de la página 3-46.
4-16	26o.	(4.3)	55.552	51.552
4-16	27o.		55.6	51.6
4-26	2o.		t = 1.678	t = 2.009
7-3	33o.		Hidrométrico	Higrométrico
7-21	8o.		( e).	(pe).
7-56	8o.		siguiente	anterior
8-13	6o. (Tabla 8.2, col. 8)		0.168	0.158
8-44		Fig. 8.23	$\frac{18.0}{35.0} = 0.537$	$\frac{18.8}{35.0} = 0.537$
8-51		(8.20)	$\left(\frac{205}{279}\right)$	$\left(\frac{205}{284}\right)$
8-51		(8.21)	$\left(\frac{205}{279}\right)\left(\frac{582.9}{600.6}\right)$	$\left(\frac{205}{284}\right)\left(\frac{615.2}{526.6}\right)$
A-7		Fig. A.5	Cs = 1.0	Cs = 0.0
B-4	1o. (Tabla B.3, col. 5)		10	2
C-11	1o.		primera	segunda
C-11	1o.		Tabla C.4	Tabla C.5

INDICE DETALLADO DEL CAPITULO 1:

GENERALIDADES.

OBJETIVO.	1-1
1.1 INTRODUCCION.	1-1
1.2 DEFINICIONES DE LA HIDROLOGIA GENERAL.	1-2
1.3 BOSQUEJO HISTORICO.	1-2
1.4 EL CICLO HIDROLOGICO.	1-4
1.4.1 Descripción Cualitativa.	1-4
1.4.2 Sistemas Hidrológicos y su Simulación.	1-6
1.4.2.1 Sistemas hidrológicos.	1-6
1.4.2.2 Modelos de simulación deterministas y estocásticos.	1-7
1.4.2.3 Modelos de simulación analíticos y empíricos.	1-7
1.4.3 Enfoque de la Ingeniería de Sistemas.	1-7
1.4.4 Descripción Cuantitativa.	1-8
1.5 DIVISIONES DE LA HIDROLOGIA GENERAL Y CONEXION CON OTRAS CIENCIAS.	1-10
1.6 ECUACION DE BALANCE HIDROLOGICO.	1-13
EJEMPLO 1.1	1-14
1.7 OBJETIVO DE LA HIDROLOGIA SUPERFICIAL.	1-14
1.7.1 Generalidades.	1-14
1.7.2 Proyectos de Aprovechamiento y Control.	1-15
1.8 ENFOQUE Y SOLUCION DE LOS PROBLEMAS HIDROLOGICOS.	1-17
1.8.1 Enfoque de los Problemas Hidrológicos.	1-17
1.8.2 Soluciones a los Problemas Hidrológicos.	1-18
1.8.3 Limitaciones de la Hidrología.	1-18
1.9 FUNCIONES DEL ESPECIALISTA EN HIDROLOGIA.	1-18
1.9.1 Tipos de Especialistas en Hidrología.	1-18
1.9.2 Funciones del Ingeniero Hidrólogo.	1-19
1.10 LA HIDROLOGIA EN MEXICO.	1-20
1.10.1 Presente y Futuro.	1-20
1.10.2 Errores y Necesidades.	1-21
1.11 RESUMEN DEL CAPITULO.	1-22
APENDICE I: Instituciones y Cursos recomendados para realizar estudios de Posgrado en Hidrología Superficial y Aprovechamientos Hidráulicos.	1-23
APENDICE II: Relación de los Principales libros sobre Hidrología Superficial, disponibles actualmente.	1-25
APENDICE III: Información Hidrológica disponible en la República Mexicana.	1-28
BIBLIOGRAFIA UTILIZADA.	1-29
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.	1-30

CAPITULO 1: GENERALIDADES.

OBJETIVO.

El objetivo primordial de este capítulo es destacar la importancia de la Hidrología Superficial, como base para el diseño de los proyectos de control y aprovechamiento de los recursos hidráulicos. Indicando sus definiciones, división, bosquejo histórico, enfoques de trabajo y limitaciones de los análisis hidrológicos, así como una descripción detallada del Ciclo Hidrológico y una serie de reflexiones sobre el estado actual de la Hidrología en nuestro país.

1.1 INTRODUCCION.

Se puede afirmar que todo lo que vive sobre la faz de la tierra depende del AGUA. El hombre la requiere para sus necesidades básicas, usos recreativos, para transformar la energía y para los procesos de manufactura y para la agricultura. Como consecuencia del incremento de la población mundial y del mejoramiento de sus condiciones de vida, se ha originado un aumento extraordinario en la demanda de agua. Por desgracia, no siempre es posible satisfacer las necesidades humanas y con frecuencia su escasez no permite disponer de la cantidad necesaria y otras veces, su exceso produce inundaciones originando graves daños materiales y algunas veces pérdida de vidas humanas.

La irregular distribución espacial y temporal de las aguas, ha obligado a construir grandes obras de protección y drenaje, y de regulación, capaces de compensar, estas últimas, la escasez y el exceso de las aguas. El desarrollo de tales proyectos no puede llevarse a cabo sin los estudios básicos necesarios para asegurar la mejor utilización racional de los recursos hidráulicos disponibles o para evitar las desastrosas consecuencias de su almacenamiento incontrolado o inseguro, además de prevenir contra los proyectos absurdos y costosos.

Lo anterior destaca la necesidad de contar con especialistas familiarizados con los problemas hidrológicos, o en su defecto, los ingenieros (civiles, agrónomos, etc.) deberán de estar capacitados para resolver los problemas hidrológicos que plantean el diseño, construcción y operación de las obras de drenaje y regulación de los es-

currimientos de un río o arroyo determinado. Es por ello que el curso de Hidrología Superficial que se imparte en las licenciaturas de ingeniería toma una relevante importancia.

### 1.2 DEFINICIONES DE LA HIDROLOGIA GENERAL.

En el transcurso de su desarrollo, la Hidrología ha sido definida de diversas formas, una de ellas, quizás la más sencilla y rudimentaria es la que se basa en la interpretación de su nombre (17,5)\*, esto es, Hidrología es una palabra de origen griego compuesta de dos partes: 'hidros' que significa agua y 'logos' que se traduce por tratado o ciencia. Por lo anterior, la Hidrología es la ciencia del agua.

El nivel actual de desarrollo de las actividades humanas y de las ciencias en general no se puede satisfacer con la definición anterior, demasiado simplista e incompleta y por ello se recurre a la definición propuesta por el U.S. Federal Council for Science and Technology (1962), cuando se requiere describir a la Hidrología como una ciencia, tal definición es la siguiente (4,1-2):

" HIDROLOGIA ES LA CIENCIA QUE TRATA DE LAS AGUAS DE LA TIERRA, SU OCURRENCIA, CIRCULACION Y DISTRIBUCION, SUS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS Y SU INFLUENCIA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE, INCLUYENDO SU RELACION CON LOS SERES VIVIENTES. El dominio de la Hidrología abarca la historia completa de la existencia del agua sobre la tierra "

Por otra parte, es conveniente citar además, la definición de Hidrología que presenta la Organización Meteorológica Mundial (13,121), ya que ella destaca la importancia de dicha ciencia en relación con los recursos hidráulicos de la tierra y su aprovechamiento, tal definición es la siguiente:

" Hidrología es la ciencia que trata de los procesos que rigen el agotamiento y recuperación de los recursos de agua en las áreas continentales de la tierra y en las diversas fases del ciclo hidrológico "

### 1.3 BOSQUEJO HISTORICO.

Prácticamente todos los libros de hidrología presentan en su inicio bosquejos históricos similares y sintéticos sobre el desarrollo de esta ciencia, sin embargo, el presentado por O.E. Meinzer (1942) es el más completo, exponiendo el desarrollo histórico de la hidrología a través de una serie de 8 períodos, cuya división en el tiempo no debe ser considerada exacta (4,1-7). Tales períodos son:

#### 1. PERIODO DE ESPECULACION (antigüedad a 1400).

Durante este período el concepto de ciclo hidrológico fue especulado por muchos filósofos, como Homero, Tales, Platón y Aristóteles en Grecia; Séneca y Plinio en Roma. La mayoría de tales conceptos fueron erróneos, con excepción del propuesto por Marco Vitruvio, que estableció que el agua subterránea provenía de la infiltración de la lluvia y de la nieve. A este período pertenecen las grandes construcciones hidráulicas de la antigüedad, las cuales requirieron un conocimiento hidrológico práctico, entre ellas: los pozos de Arabia, los Kanats de Persia, los acueductos de Roma, los canales y sistemas de irrigación y obras de control de inundaciones en China y las zonas de riego de Egipto, Mesopotamia e India.

#### 2. PERIODO DE OBSERVACION (1400 a 1600).

En el período conocido como Renacimiento, se tuvo un cambio gradual de los conceptos filosóficos puros de la hidrología a la ciencia observacional de tal época. Por ejemplo, basándose en observaciones, Leonardo de Vinci y Bernard Palissy lograron una correcta comprensión del ciclo hidrológico, especialmente en lo relativo a la infiltración de la lluvia y retorno del agua a través de manantiales.

\* El primer número entre paréntesis corresponde a la referencia bibliográfica utilizada y el segundo a su página consultada.

#### 3. PERIODO DE MEDIDA (1600 a 1700).

El inicio de la moderna ciencia de la hidrología puede ser considerado en el Siglo XVII, con las mediciones, por ejemplo: las de Pierre Perrault y Edmé Mariotte en el río Sena de París y Edmond Halley en el mar Mediterráneo, los cuales llegaron a conclusiones correctas del fenómeno hidrológico estudiado. A este período corresponden también los primeros estudios de los pozos artesianos.

#### 4. PERIODO DE EXPERIMENTACION (1700 a 1800).

Durante el Siglo XVIII, los estudios experimentales hidráulicos tuvieron gran auge y como resultado de ello muchos principios hidráulicos fueron obtenidos, por ejemplo: el teorema y piezómetro de Bernoulli, la fórmula de Chézy y el principio de D'Alembert, los tubos de Pitot y Borda. Los desarrollos anteriores aceleraron el inicio de los trabajos hidrológicos de base cuantitativa.

#### 5. PERIODO DE MODERNIZACION (1800 a 1900).

El Siglo XIX fue una gran era de hidrología experimental que tuvo su inicio en el período precedente y que marcó más firmemente el comienzo de la ciencia de la hidrología. Sin embargo, la mayoría de las contribuciones se tuvieron en la Geohidrología y medición de las aguas superficiales (Hidrometría). Por ejemplo: la ecuación de Hagen-Poiseuille del flujo capilar (1840), la Ley de Darcy (1856), la fórmula del pozo de Dupuit-Thiem (1863) y el principio de Ghyben-Herzberg (1889). En el campo de la hidrometría, en relación al aforo de aguas superficiales, se tuvo un gran avance, incluyendo: el desarrollo de varias fórmulas del flujo e instrumentos de medida y el comienzo del aforo sistemático de corrientes. Entre las contribuciones principales se tienen la fórmula de descarga de los vertederos de Francis (1855), la determinación del coeficiente de Chézy propuesta por Ganguillet y Kutter (1869) y por Manning (1889) y en el campo de la evaporación la Ley de Dalton (1802), por último, en el campo de las precipitaciones Miller (1849) correlacionó la lluvia con la altitud.

#### 6. PERIODO DE EMPIRISMO (1900 a 1930).

Aunque muchos trabajos de hidrología moderna fueron iniciados en el Siglo XIX, el desarrollo en hidrología cuantitativa fue todavía inmaduro y entonces la ciencia de la hidrología fue enormemente empírica, debido a que la base física para varias determinaciones hidrológicas no estaba bien conocida, o bien porque se disponía de mucha información cuantitativa experimental para ser usada. Durante la parte final del Siglo XIX y los siguientes 30 años, el empirismo hidrológico fue evidente, por ejemplo: cientos de fórmulas empíricas fueron propuestas, seleccionando sus coeficientes y parámetros en base al juicio y experiencia.

#### 7. PERIODO DE RACIONALIZACION (1930 a 1950).

En este período se inician los grandes hidrólogos que utilizan el análisis racional para resolver los problemas hidrológicos planteados, así por ejemplo se tienen: Sherman (1932) con el concepto del hidrograma unitario. Horton (1953) con la teoría de la infiltración de la lluvia, Theis (1935) que introduce el concepto del noequilibrio en la hidráulica de pozos, Gumbel (1941) que propone la distribución de probabilidades de valores extremos, Hazen (1930) que promueve el uso de la estadística en la hidrología, Bernard (1944) que discute el papel de la meteorología y marca el inicio de la hidrometeorología y Einstein (1950) quien introduce el análisis teórico en los estudios de sedimentación. Otro notable desarrollo en este período fue el establecimiento de muchos laboratorios hidráulicos e hidrológicos en el mundo.

#### 8. PERIODO DE TEORIZACION (1950 a la fecha).

Alrededor del año 1950, las aproximaciones teóricas tienen uso extensivo en los problemas hidrológicos, ya que muchos principios racionales propuestos anteriormente, pueden ser sujetos a un verdadero análisis matemático. Los instrumentos sofisticados y las computadoras de alta velocidad empiezan su desarrollo y entonces, se pueden tomar medidas delicadas del fenómeno hidrológico y resolver ecuaciones



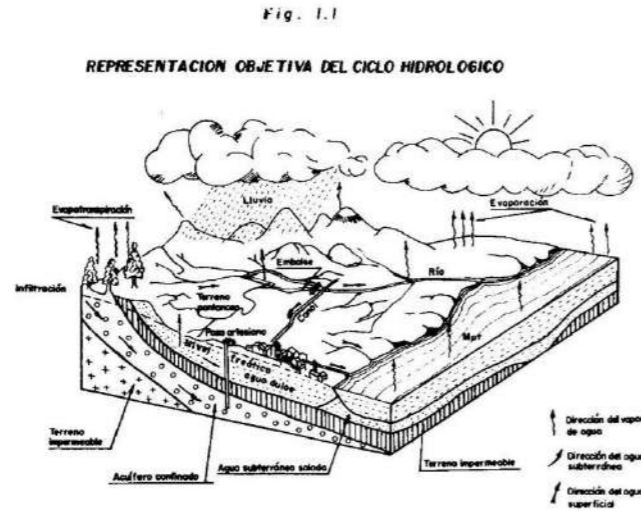
matemáticas complicadas involucradas en la aplicación de las modernas teorías hidrológicas. Son ejemplos de los estudios hidrológicos teóricos, el análisis lineal y no lineal de sistemas hidrológicos, la adopción de los conceptos estadísticos y transitorios en la hidrodinámica del agua subterránea, la aplicación de las teorías de transferencia de masa y calor al análisis de evaporaciones, el estudio energético y dinámico de la humedad del suelo, la generación secuencial de datos hidrológicos y del uso de la investigación de operaciones en el diseño de sistemas de recursos hidráulicos.

Para obtener una descripción mucho más completa y precisa de la evolución histórica de la hidrología, se debe consultar la referencia recomendada C, la cual constituye uno de los trabajos más completos y valiosos en este tópico, así como la referencia D.

#### 1.4 EL CICLO HIDROLOGICO.

##### 1.4.1 DESCRIPCION CUALITATIVA.

El ciclo hidrológico es un concepto académico útil, desde el cual se inicia el estudio de la hidrología (10,1). El ciclo hidrológico se ilustra objetivamente en la Fig. 1.1 (12,266) siguiente y en forma esquemática en la Fig. 1.2 (4,1-4) de la página subsecuente.

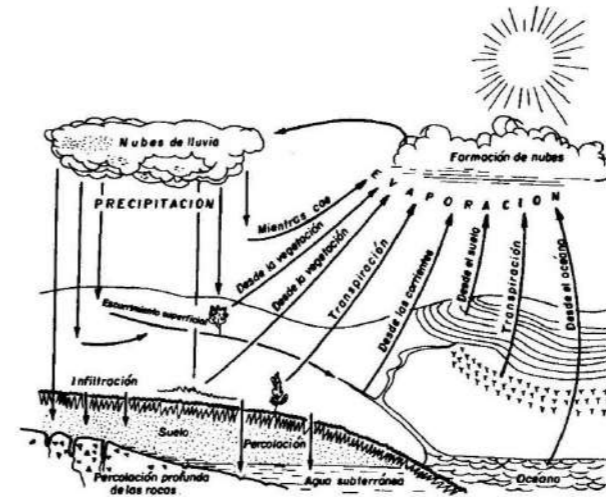


En resumen, el ciclo hidrológico, es un término descriptivo aplicable a la circulación general del agua en la tierra, el cual se define (13,120) como:

" sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación "

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente (7,5), este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

Fig. 1.2  
REPRESENTACION DESCRIPTIVA DEL CICLO HIDROLOGICO.  
( W. C. Ackermann, E. A. Coleman y H. O. Ogrosky, 1955 ).



Se puede suponer que el ciclo hidrológico se inicia con la evaporación del agua - en los océanos, el vapor de agua resultante del proceso anterior es transportado por las masas de aire en movimiento (viento) hacia los continentes. Bajo condiciones meteorológicas adecuadas el vapor de agua se condensa para formar nubes, las cuales a su vez dan origen a las precipitaciones. Ver capítulos 3 y 4.

No toda la precipitación llega al terreno, ya que una parte se evapora durante su caída y otra es retenida (Intercepción) por la vegetación, o los edificios, carreteras, etc. y poco tiempo después, es retornada a la atmósfera en forma de vapor. Del agua que alcanza la superficie del terreno, una parte queda retenida en los huecos e irregularidades del terreno (Almacenamiento en Depresiones) y en su mayoría vuelve a la atmósfera por evaporación. Ver capítulo 5.

Otra parte del agua que llega al suelo circula sobre la superficie (Lluvia en Exceso) y se concentra en pequeños surcos que luego integran arroyos, los cuales posteriormente desembocan en los ríos (Eskurrimiento Superficial) los que conducen las aguas a los lagos, embalses o mares, desde donde se evapora o bien, se filtra en el terreno (12,267). Ver capítulo 8.

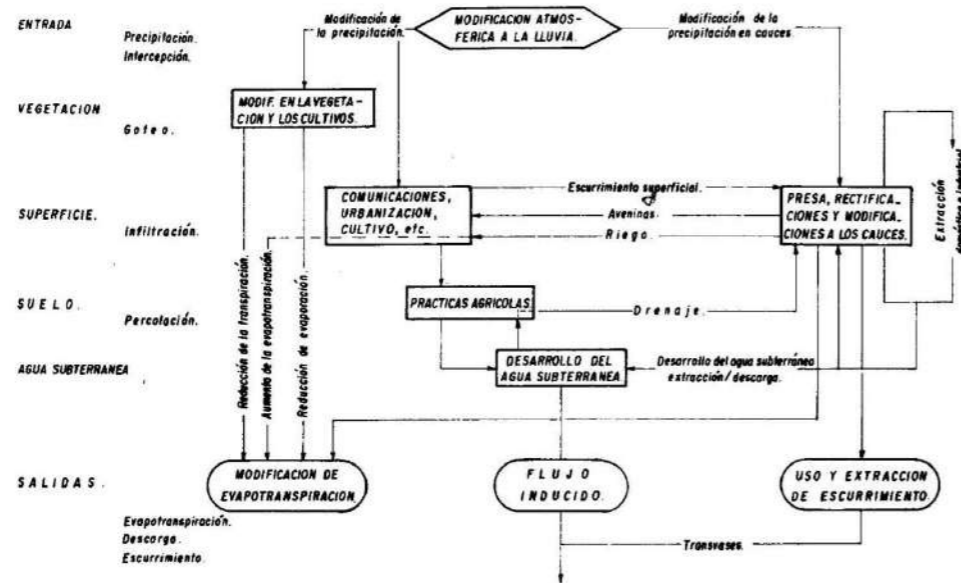
Por último, hay una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno (Infiltración) y va relleno los poros y fisuras de tal medio poroso. Ver capítulo 6. Si el agua infiltrada es abundante, una parte desciende hasta recargar el agua subterránea, en cambio, cuando el volumen infiltrado es escaso el agua queda retenida en la zona no saturada (Humedad del Suelo), de donde vuelve a la atmósfera por evaporación o principalmente, por transpiración de las plantas; como en la práctica no es fácil separar ambos fenómenos, se suelen englobar en el término Evapotranspiración. Ver capítulo 7. Bajo la influencia de la gravedad, tanto el escurrimiento superficial como el agua subterránea se mueve hacia las zonas bajas y con el tiempo integran el escurrimiento total de un río para fluir hacia los océanos.

Una descripción de la evolución histórica del concepto del ciclo hidrológico se puede consultar en la referencia recomendada J.

Por otra parte, se sugiere la consulta de las referencias recomendadas A, E, G y L, para adentrarse en el t3pico del control y modificaci3n del ciclo hidrol3gico, cuyas principales 3reas de intervenci3n del hombre se representan en la Fig. 1.3 -- (20,12) siguiente.

Fig. 1.3

PRINCIPALES 3REAS DE INTERVENCI3N DEL HOMBRE EN EL CICLO HIDROLOGICO.



Si la descripci3n anterior del ciclo hidrol3gico di3 la impresi3n de ser un proceso cont3nuo, por el cual el agua se mueve a velocidad constante, tal idea debe ser descartada, pues tal movimiento, en cada fase del ciclo, es err3tico tanto temporal como espacialmente (10,2). Cabe hacer notar adem3s, que las cualidades del agua -- tambi3n cambian durante su paso a trav3s del ciclo hidrol3gico (14,1), siendo el gran mecanismo de desalinizaci3n de la naturaleza.

1.4.2 SISTEMAS HIDROLOGICOS Y SU SIMULACION.

1.4.2.1 SISTEMAS HIDROLOGICOS. Los hidr3logos modernos consideran al ciclo hidrol3gico como un gran sistema, ya que con este concepto es posible dar un enfoque m3s cuantitativo y racional a la hidrolog3a, pues el hidr3logo no s3lo est3 interesado en una compresi3n cualitativa del ciclo hidrol3gico, sino en conocer las cantidades de agua involucradas en cada fase de 3l (16,3).

Un SISTEMA HIDROLOGICO se puede definir como un conjunto de elementos o procesos f3sicos unidos a trav3s de alguna forma de interdependencia, que act3a sobre un grupo de variables de entrada para convertirlas en las de salida. En estos sistemas cada uno de los elementos o procesos integrantes es el resultado de complicadas interrelaciones de muchos factores de gran variabilidad espacial y temporal, cuyas caracter3sticas f3sicas pr3cticamente no son medibles y por ello no son calculables (16,4).

Los sistemas hidrol3gicos son tan complejos que a3n no se han desarrollado leyes exactas que puedan explicar completa y exactamente los fen3menos hidrol3gicos naturales, utiliz3ndose por lo tanto, los modelos matem3ticos de simulaci3n de ta--

les sistemas, para reproducir o predecir su funcionamiento.

1.4.2.2 MODELOS DE SIMULACION DETERMINISTAS Y ESTOCASTICOS. Existen dos criterios o enfoques b3sicos para simular sistemas hidrol3gicos: el primero, a trav3s del uso de un Modelo Determin3stico y el segundo, en base a un Modelo Estoc3stico.

Un modelo es determin3stico cuando cualquiera que sea el valor de la variable de tiempo, la respuesta a una entrada dada es siempre la misma, para un mismo estado inicial del sistema. En estos modelos el problema se reduce principalmente a la determinaci3n y ajuste de los par3metros que describen el sistema, por ello tales modelos son llamados tambi3n Param3tricos (16,16).

Debe hacerse notar, que en la realidad no es posible formular y simular un sistema hidrol3gico natural, en t3rminos estrictamente determin3sticos, debido a la variabilidad en el tiempo de dichos sistemas, variabilidad que se origina por los cambios introducidos por el hombre directa o indirectamente y a los procesos naturales de erosi3n, cambios clim3ticos y otros fen3menos que constituyen la evoluci3n geomorfol3gica de la tierra; adem3s, de las dificultades en la formulaci3n matem3tica de los complejos procesos f3sicos involucrados (16,17).

En los modelos de simulaci3n estoc3sticos, se eval3an los par3metros estad3sticos que describen la respuesta del sistema y se utilizan posteriormente en la generaci3n de series de datos hidrol3gicos estad3sticamente indistinguibles de las series observadas.

Con los modelos determin3sticos se pretende simular de manera cont3nua en el tiempo una sucesi3n de eventos hidrol3gicos a intervalos cortos (horas o d3as) y la comprobaci3n de la validez del modelo se realiza por comparaci3n con la sucesi3n de eventos observados; en cambio con los modelos estoc3sticos no se busca una simulaci3n cont3nua de eventos, sino la generaci3n de series hidrol3gicas no observadas de igual probabilidad de ocurrencia que las observadas, es decir, fundamentalmente consiste en predecir a grandes intervalos (mes o a3o) los valores caracter3sticos de la respuesta del sistema y no su valor instant3neo (16,18).

Cada uno de los dos enfoques expuestos tiene sus ventajas y limitaciones que los hacen aconsejables para distintos tipos de problemas o dise3os hidrol3gicos.

1.4.2.3 MODELOS DE SIMULACION ANALITICOS Y EMPIRICOS. Los modelos Emp3ricos o de Caja Negra, est3n determinados, en t3rminos generales, s3lo por los datos de entrada y salida disponibles y no interesa o no se conoce su funcionamiento interno, un ejemplo cl3sico lo constituye, el an3lisis de las relaciones lluvia-escurrimiento de una cuenca. En cambio, los modelos Anal3ticos o de Caja Blanca est3n basados en las ecuaciones de la hidrodin3mica y los constituyen los modelos matem3ticos de simulaci3n de cuencas, los cuales tratan de reproducir todos los procesos f3sicos involucrados.

En la hidrolog3a, debido a que muchos procesos no son a3n suficientemente conocidos, todos los modelos tienen algo de empirismo; incluso los anal3ticos algunas veces incluyen porciones emp3ricas, origin3ndose en la pr3ctica los Modelos Semiemp3ricos (16,19).

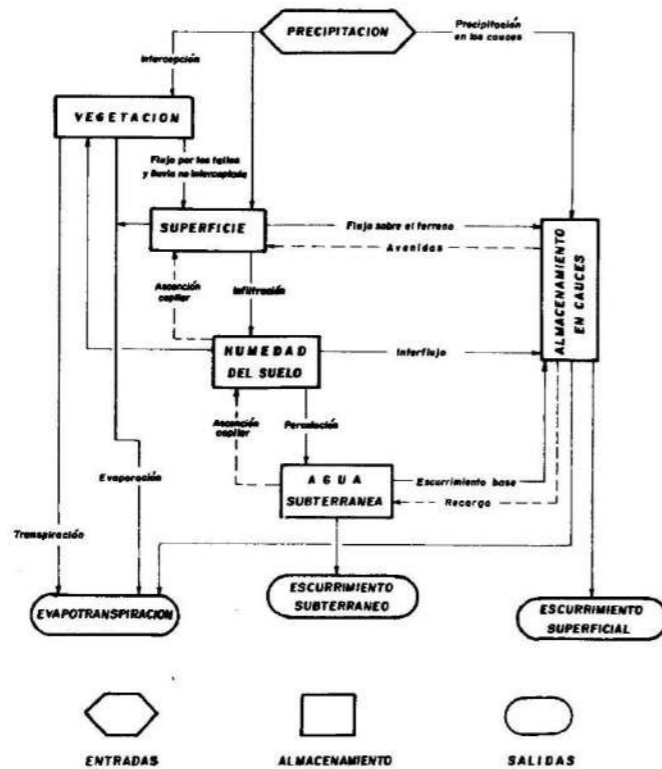
1.4.3 ENFOQUE DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS.

Para prop3sitos de an3lisis y estudio del ciclo hidrol3gico, es 3til primero identificar y despu3s aislar los componentes del sistema hidrol3gico a trav3s del cual el agua pasa y el proceso din3mico por el cual el movimiento ocurre (7,5), para posteriormente abordar su simulaci3n. Esto constituye el enfoque de la ingenier3a de sistemas, aplicada a la hidrolog3a, dentro del cual se define como sistema Abierto el que opera independientemente de las salidas producidas y como sistema Cerrado aquel cuya operaci3n depende de la retroalimentaci3n de todas o parte de sus salidas (20,8).

De acuerdo a V.T. Chow la mayor3a de los sistemas hidrol3gicos locales o regiona--

les son abiertos, como el que se ilustra en la Fig. 1.4 (20,10) siguiente y es un sistema cerrado el ciclo hidrológico global, el cual es mostrado en la Fig. 1.5 - (7,6) de la página subsecuente.

Fig. 1.4  
ENFOQUE DE SISTEMAS DEL CICLO HIDROLOGICO.  
( J. Lewin, 1975 )

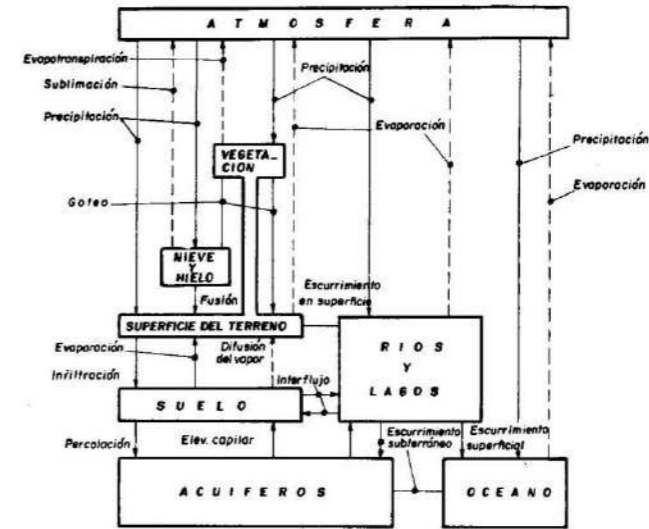


#### 1.4.4 DESCRIPCIÓN CUANTITATIVA.

A lo largo de los tres siglos de hidrología científica, se han venido realizando estimaciones cuantitativas de los principales elementos del ciclo hidrológico, -- sin embargo, sólo en los últimos 50 años se ha intentado evaluar la cantidad total de agua de la hidrósfera y las cantidades que intervienen en la circulación general del agua en la tierra (6,2) y todavía las estimaciones más recientes son únicamente cifras del orden de magnitud del concepto en análisis. Por ejemplo, se calcula que la cantidad total de agua que hay en la hidrósfera es de unos 1,500 millones de kilómetros cúbicos y prácticamente, la totalidad de ella (los cálculos varían entre el 93 y el 97%) se encuentra en los océanos y mares salados. De los recursos de agua dulce del mundo (aproximadamente, el 5% del volumen total) -- el 75% no es fácilmente utilizable (hielo, nieve, etc.), estando la mitad de esta agua dulce congelada en los polos (6,2).

Por lo anterior, sólo el 1% del agua total que hay en la hidrósfera se encuentra

Fig. 1.5  
REPRESENTACION INGENIERIL DEL CICLO HIDROLOGICO  
( P. S. Eagleson, 1970 )



en forma fácil y económicamente aprovechable por la tecnología actual. Pero de esta agua 'disponible' el 79% es agua subterránea, pudiéndose encontrar la mitad de ella abajo de los 1,000 metros de profundidad (6,3). Las cifras anteriores se detallan en la Tabla 1.1 (6,2) de la página siguiente.

Como complemento a la descripción cuantitativa anterior del ciclo hidrológico, se presenta la Tabla 1.2 (12,269) de la página subsecuente, en la cual se indican -- los ocho emplazamientos o lugares más importantes de la hidrósfera que contienen agua, indicándose inclusive el orden de magnitud del tiempo medio que una partícula de agua permanece en cada uno de ellos, así por ejemplo, el tiempo de permanencia del agua en la atmósfera se obtiene a partir de la estimación del volumen litado anualmente sobre el planeta, que es de 520,000 kilómetros cúbicos (6,3), por otra parte, en la Tabla 1.2 se tiene que el volumen de vapor en la atmósfera es -- de 13,000 kilómetros cúbicos, implicando que tal volumen será reemplazado 40 veces en un año, lo cual conduce a indicar que en promedio el tiempo de residencia del agua en la atmósfera sea del orden de 9 días (7,8).

En la Tabla 1.3 (6,3) y en la Fig. 1.6 (7,7) de la página número 11, se indican -- los elementos de la circulación global del agua en el mundo, expresados en lámina y en la Fig. 1.7 (2,1-5) de la página 12, se representa cuantitativamente el ciclo hidrológico según H. Lettau.

El tema de este inciso ha sido abordado con bastante acuciosidad en los capítulos 1 y 2 de las referencias recomendadas H y K, respectivamente, sugiriéndose su consulta para mayores detalles.

Por último, en la Tabla 1.4 (2,79) de la página 12, se sintetiza la disponibilidad de los recursos hídricos en la República Mexicana, pudiéndose indicar que en promedio anualmente llueven 780 milímetros, equivalentes a 1.53 billones de metros cúbicos, escurriendo por los ríos una cuarta parte, es decir, 410,000 millo-

TABLA 1.1  
DISTRIBUCION APROXIMADA DEL AGUA EN LA HIDROSFERA

(J. C. I. Dooge, 1974)

Tipo de Agua	Porcentaje de Agua TOTAL	Porcentaje de Agua DULCE	Porcentaje de Agua DISPONIBLE (o sea, dulce y no helada.)
TOTAL:			
Salada	95		
Dulce	5		
POTABLE:			
Helada	4	80	
Líquida	1	20	
DULCE LIQUIDA:			
Fredática	0.99	19.7	99
Lagos	0.01	0.2	1
Suelo	0.002	0.04	0.2
Ríos	0.001	0.02	0.1
Atmosférica	0.001	0.02	0.1
Biológica	0.0005	0.001	0.005

TABLA 1.2

DISTRIBUCION DEL AGUA EN LA HIDROSFERA

(M. I. L'vovitch, 1967 y R. L. Nace, 1969)

	Area (Km <sup>2</sup> X 10 <sup>3</sup> )	Volumen (Km <sup>3</sup> X 10 <sup>3</sup> )	Altura equivalente(m)	% del agua total	Tiempo de residencia medio
Océanos	362,000	1'350,000	2,700	97.6	3,000 años
Tierras emergidas					
Ríos (volumen instantáneo)		1.7	0.003	0.0001	15-20 días
Lagos de agua dulce	825	125	0.25	0.009	10 años
Lagos de agua salada	700	105	0.20	0.008	150 años
Humedad del suelo en la zona no saturada	131,000	150	0.30	0.01	semanas a años
Polos y glaciares	17,000	25,000	50	1.9	miles de años
Agua subterránea	131,000	7,000	14	0.5	decenas a miles de años
Total en las tierras emergidas	148,000	33,900	65	2.4	
Atmósfera (vapor de agua)	510,000	13	0.025	0.001	8-10 días
TOTAL	510,000	1'384,000	2,750	100	

nes de metros cúbicos, integrados por escurrimiento superficial y flujo o descarga de las aguas subterráneas (2,79).

### 1.5 DIVISIONES DE LA HIDROLOGIA GENERAL Y CONEXION CON OTRAS CIENCIAS.

TABLA 1.3

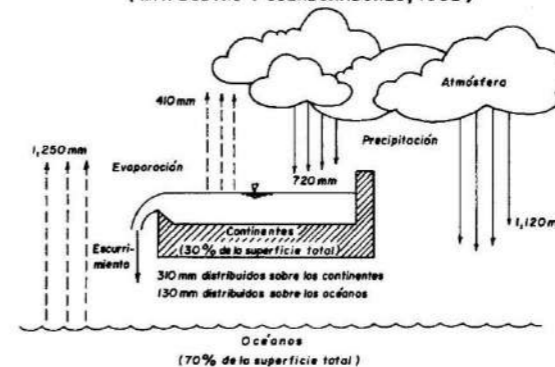
BALANCE HIDRICO GLOBAL

(M. I. L'vovitch, 1971)

	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Ecurrimiento (mm)
Todo el mundo:	1,030	- 1,030	
Océanos:	1,140	- 1,251	+ 111
Continentes:	780	- 480	- 280

Fig. 1.6

DISTRIBUCION GLOBAL DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL DEL MUNDO (M. I. BUDYKO Y COLABORADORES, 1962)



Aunque la hidrología científica comprende sólo tres siglos (consultar referencia recomendada F) y su mayor desarrollo como ciencia lo ha tenido en el siglo actual, su carácter complejo, ha requerido su división en varias ramas científicas, las cuales estudian al agua en alguna de sus fases dentro del ciclo hidrológico y que son reconocidas por la International Association of Scientific Hydrology (11,4), éstas son:

1. OCEANOGRAFIA, estudio de los océanos y mares.
2. METEOROLOGIA, estudio del agua en la atmósfera.
3. HIDROLOGIA SUPERFICIAL, estudio del agua continental.
4. HIDROMETEOROLOGIA, estudio de los problemas comunes a los campos de la Meteorología y la Hidrología Superficial.
5. LIMNOLOGIA, estudio de los lagos.
6. POTAMOLOGIA, estudio de los ríos.
7. GEOHIDROLOGIA, estudio del agua subterránea.
8. CRIOLOGIA, estudio del agua sólida (nieve y hielo).

Por otra parte, la Hidrología Superficial se divide en varias ramas prácticas en las cuales intervienen los campos o áreas científicas para dar solución a problemas eminentemente prácticos, éstas son:

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| a. Hidrología Agrícola. | d. Hidrología de Regiones Áridas y Semiáridas.     |
| b. Hidrología Forestal. | e. Hidrología de Zonas Pantanosas.                 |
| c. Hidrología Urbana.   | f. Hidrología de Control de Avenidas o Crecientes. |

La Hidrología, como cualquier ciencia que tiene por objeto el estudio de los fenó



Fig. 1.7  
**REPRESENTACION CUANTITATIVA DEL CICLO HIDROLOGICO**  
 ( H. Lettau, 1954 ).

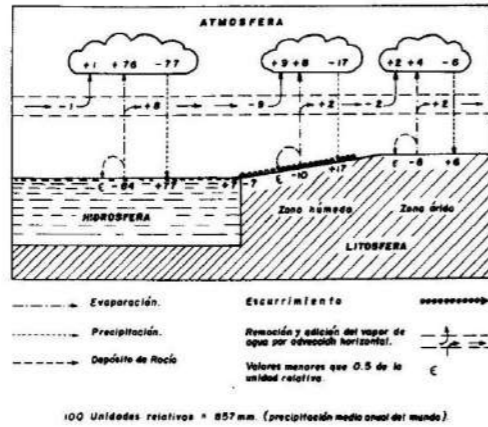


Tabla 1.4

**CUANTIFICACION DE LOS ELEMENTOS DEL CICLO HIDROLOGICO PARA LA REPUBLICA MEXICANA.** (Com. del Plan Nal. Hidráulico, S. A. R. N. 1975 )

Elementos del ciclo hidrológico. (RECURSOS HIDRAULICOS DE MEXICO)	Volumen, en miles de millones de m <sup>3</sup>	
	Medio anual	Almacenado
1. AGUA ATMOSFERICA - Precipitación (renovable)	1,530.0	
2. AGUA SUPERFICIAL - Escorrentía fluvial + esc. superficial + esc. base (renovable). - Almacenamiento: Capacidad de lagos naturales. Capacidad de vasos en operación. Evaporación de lagos y vasos	410.0  9.3	14.0 107.0
3. AGUA SUBTERRANEA - Extracción permanente (renovable) Estimaciones regionales en el 37% de territorio nacional. - Almacenamiento aprovechable para agricultura (no renovable)	5 a 10	60 a 80

menos naturales, está relacionada con otras ciencias. Tal relación o conexión deriva de la interacción que existe entre los diversos elementos naturales que integran los fenómenos de la naturaleza (17,20).

Por lo anterior, la Hidrología está relacionada primordialmente con las ciencias que estudian alguna componente de la naturaleza y por su enfoque o técnicas de trabajo está en conexión con las matemáticas (Estadística y Probabilidades). A --

continuación se resumen las ciencias que tienen mayor incidencia en la Hidrología:

1. Geografía Física.
2. Hidráulica.
3. Topografía y Cartografía.
4. Geomorfología.
5. Geología.
6. Edafología.
7. Ecología.
8. Matemáticas.
9. Estadística y Probabilidad.
10. Física.
11. Química.
12. Biología.

**1.6 ECUACION DE BALANCE HIDROLOGICO.**

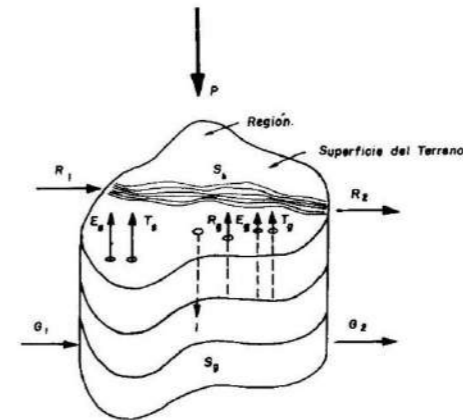
En todo sistema o subsistema del ciclo hidrológico (Fig. 1.4 y 1.5), el principio que indica que el agua ni se crea ni se destruye se refleja en la denominada ECUACION DE BALANCE HIDROLOGICO (6,3), la cual permite relacionar las cantidades de agua que circulan por el ciclo (8,833), ésta es:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento.} \quad (1.1)$$

La simplicidad de la ecuación anterior es frecuentemente engañosa, ya que en la mayoría de los casos los términos de ella no pueden ser cuantificados adecuada y fácilmente (19,5).

Una ecuación de balance hidrológico generalizada puede ser desarrollada en base a los conceptos ilustrados en la Fig. 1.2 de la página número 5 y a la descripción cualitativa del ciclo hidrológico del inciso 1.4.1; entonces, s y g denotarán vectores o componentes de la ecuación originados en la superficie del terreno o en su interior, siendo las variables hidrológicas las siguientes: precipitación (P), evaporación (E), transpiración (T), escorrentía superficial (R), infiltración (I), escorrentía subterránea (G) y los términos de almacenamiento (S). Los términos anteriores se ilustran en la Fig. 1.8 (19,8) siguiente.

Fig. 1.8  
**REPRESENTACION DEL BALANCE HIDROLOGICO DE UNA REGION**



Entonces, de acuerdo a la Fig. 1.8 anterior, la ecuación de balance hidrológico sobre el terreno será (19,7):

$$P + R_1 - R_2 + R_g - E_s - T_s - I = \Delta S_s \quad (1.2)$$

la ecuación de balance hidrológico bajo el terreno será:



$$I + G_1 - G_2 - R_g - E_g - T_g = \Delta S_g \quad (1.3)$$

y por último, la ecuación del balance hidrológico para todo el sistema (cuenca, valle, etc.) será igual a la suma de las ecuaciones 1.2 y 1.3, esto es:

$$P - (R_2 - R_1) - (E_s + E_g) - (T_s + T_g) - (G_2 - G_1) = \Delta(S_s + S_g) \quad (1.4)$$

la cual en forma simplificada se puede escribir como:

$$P - R - E - T - G = \Delta S \quad (1.5)$$

La ecuación de balance hidrológico es una herramienta útil para obtener estimaciones de la magnitud y distribución en el tiempo de las variables hidrológicas que en ella intervienen, como se ilustra en el siguiente ejemplo numérico, basado en el ejemplo 1.1 de la referencia 19 página 9.

#### EJEMPLO 1.1:

Durante un año determinado, una cuenca de 25,000 kilómetros cuadrados, recibe 900 milímetros de precipitación. El escurrimiento anual aforado en el río que drena esta cuenca fue de 5,361 millones de metros cúbicos. Hacer una estimación aproximada de las cantidades conjuntas de agua evaporada y transpirada por la cuenca durante el año.

SOLUCIÓN: La ecuación de balance hidrológico a utilizar es:

$$P - R - G - E - T = \Delta S \quad (1.5)$$

$$E + T = ET = P - R - G - \Delta S \quad (1.6)$$

en donde ET es la llamada evapotranspiración que se quiere calcular y P y R son conocidos, entonces para obtener la solución dos suposiciones deben efectuarse:

- 1a. Tomando en cuenta la enorme extensión de la cuenca, se podrá considerar que las divisorias topográfica y de aguas subterráneas (inciso 2.1 del capítulo 2) son coincidentes, entonces  $G = 0$
- 2a. Se puede suponer que  $\Delta S = 0$ , lo cual implica que el volumen de agua subterránea no cambia con el tiempo. Para períodos más cortos la suposición anterior no es válida, ni en zonas áridas en las cuales se sobreexplotan los acuíferos durante los años secos.

Entonces, en base a lo anterior se obtiene:  $ET = P - R \quad (1.7)$

para aplicar tal ecuación R se debe transformar a lámina en milímetros por año:

$$R = 5,361 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{año} (1/\text{Area de cuenca, m}^2) (1,000 \text{ mm / m})$$

$$R = \frac{5,361 \cdot 10^6 \text{ m}^3 (10^3)}{26.0 \cdot 10^9 \text{ m}^2} = 206.2 \text{ mm / año.}$$

por lo tanto:

$$ET = P - R = 900 - 206 = 694 \text{ mm. / año.}$$

$$\underline{ET = 700 \text{ milímetros por año.}}$$

El tema de este inciso será tratado con mayor detalle en un capítulo del volumen II (Diseños Hidrológicos de Obras Hidráulicas), en el cual se abordan diversos tópicos relacionados con la ecuación de balance hidrológico y los balances hídricos de cuencas.

Un trabajo que cubre con gran extensión y claridad los temas anteriores es la referencia recomendada M.

### 1.7 OBJETIVO DE LA HIDROLOGIA SUPERFICIAL.

#### 1.7.1 GENERALIDADES.

La hidrología superficial, se encuentra comúnmente incluida en los programas de estudio de las carreras ingenieriles, como son la ingeniería civil y la ambiental, la agronomía, la geología, la geografía y la ecología. Todos estos especialistas y en particular el ingeniero civil, tienen que diseñar, construir o bien, operar algún tipo de obra hidráulica que pretenda aprovechar una corriente o brindar protección contra las avenidas o crecientes de un río o arroyo, requiriendo por ello del conocimiento de la hidrología superficial para dar solución a los variados problemas de carácter práctico que dichas obras plantean, en especial en la etapa de proyecto, así como durante su proceso constructivo y su explotación.

Por ejemplo, si un ingeniero (civil, agrónomo, ambiental, etc.) debe estudiar el mejoramiento, la ampliación o la apertura de una zona bajo riego, el ingeniero primero detectará las fuentes de recursos hidráulicos (cuencas hidrográficas o acuíferos); si decide aprovechar los escurrimientos que genera una determinada cuenca tendrá que contestar las siguientes preguntas: ¿Qué magnitud y distribución tienen los escurrimientos de tal cuenca? ¿Qué demandas o requerimientos de riego presentan los cultivos propuestos? ¿Qué características tienen los períodos secos y que capacidad de almacenamiento es necesario dar al embalse para garantizar unas ciertas extracciones? ¿Qué porcentaje del escurrimiento se perderá por evaporación en el embalse? ¿Es mejor el planteamiento de aprovechamiento de las aguas superficiales o el de la captación de las aguas subterráneas? ¿Se pueden manejar conjuntamente ambos planes?

Sin embargo, las preguntas continúan si el embalse será construido (21,4): ¿Qué capacidad debe tener su obra de excedencias? ¿Qué diámetro debe tener la tubería de la obra o estructura de extracción? ¿La reforestación de la cuenca puede beneficiar tal planteamiento o no?

Las soluciones a todas las interrogantes anteriores y a otras más, son obtenidas a través de la hidrología superficial, cuyo objetivo se centra en el estudio y análisis de todos los problemas que atañen al diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería para el aprovechamiento y control de las aguas (10,1).

#### 1.7.2 PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO Y CONTROL.

Dentro del ciclo hidrológico es común observar que, algunas veces, la naturaleza parece 'trabajar' demasiado, generando lluvias torrenciales que hacen crecer a los ríos en exceso y en otras ocasiones la maquinaria del ciclo parece detenerse completamente y con ella la precipitación y el escurrimiento (10,2). Estas dos condiciones extremas de crecientes y sequías, originan que el escurrimiento de los ríos no sea uniforme, sino que presenta dos épocas (5,1.1.2):

- 1a. Epocas de escurrimiento muy reducido en las que no se dispone del agua suficiente para su uso en el riego, agua potable o generación de energía eléctrica.
- 2a. Epocas de avenidas o crecientes en las que el escurrimiento es excesivo, desbordándose de su cauce natural y originando daños cuantiosos (inundaciones).

Las dos condiciones anteriores son precisamente las de mayor interés para el ingeniero especialista en hidrología, ya que con frecuencia se construyen obras (embalses) que permiten regular el escurrimiento a fin de disponer de él en forma uniforme y constante, y obras para dar protección contra las inundaciones, o bien, que sólo den paso a las avenidas. Las obras que se realizan para modificar el ciclo hidrológico y poder disponer del agua en forma regular se llaman PROYECTOS DE APROVECHAMIENTO y principalmente están constituidos por los embalses. En cambio las obras cuyo objetivo es brindar protección contra las inundaciones, se llaman PROYECTOS DE CONTROL y están constituidos por embalses, bordos de protección, rectificaciones de ríos, cauces de alivio, etc. Por último, dentro de las obras o estructuras que únicamente dan paso a las avenidas se tienen; los puentes, alcantarillas y los sistemas de drenaje, urbanos y rurales.

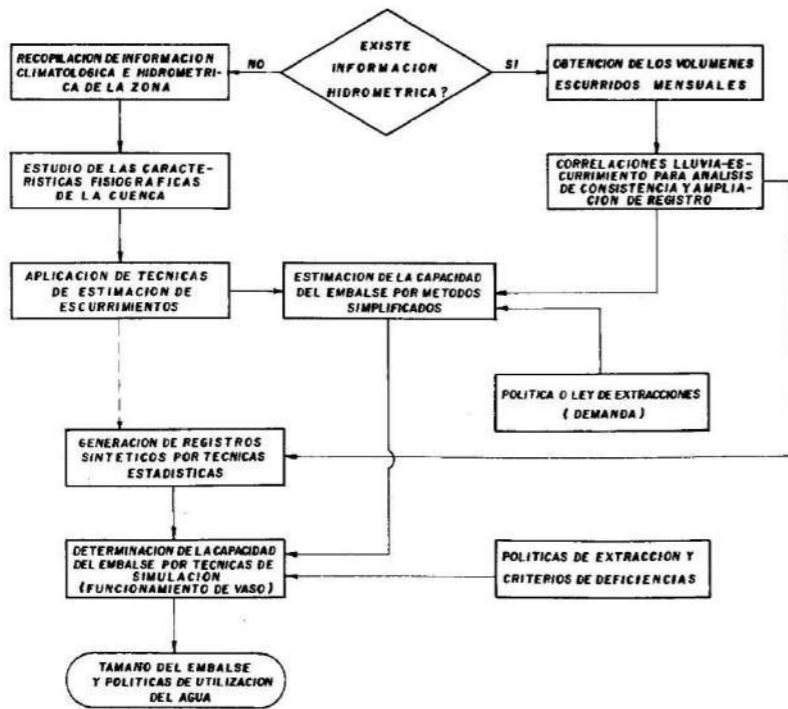
Conviene aclarar, que la descripción anterior es únicamente un esquema que facilita describir el objetivo de la hidrología superficial pero que, en la generalidad de los casos prácticos, los problemas de aprovechamiento y control se superponen y son difíciles de separar en un estudio hidrológico (5,1.1.2). Para mayores detalles sobre los diversos tipos de problemas hidrológicos que se plantean al aprovechar los recursos hidráulicos, se aconseja consultar la referencia recomendada N.

En resumen, es el objetivo de la hidrología superficial el proporcionar las bases científicas y metodológicas para la elaboración de los estudios hidrológicos necesarios para el diseño de los proyectos de aprovechamiento, control y de paso a las avenidas.

Los estudios hidrológicos para el diseño de un proyecto de aprovechamiento están generalmente basados en los volúmenes de escurrimiento medidos o estimados en el sitio de interés, en intervalos de tiempo relativamente grandes, por ejemplo de un mes. En cambio, los proyectos de control serán diseñados por medio de estudios que se basan en los fenómenos de avenida que ocurren en el cauce y que lógicamente, tienen una duración mucho menor, de minutos a días, según el tamaño de la cuenca (5,1.1.3).

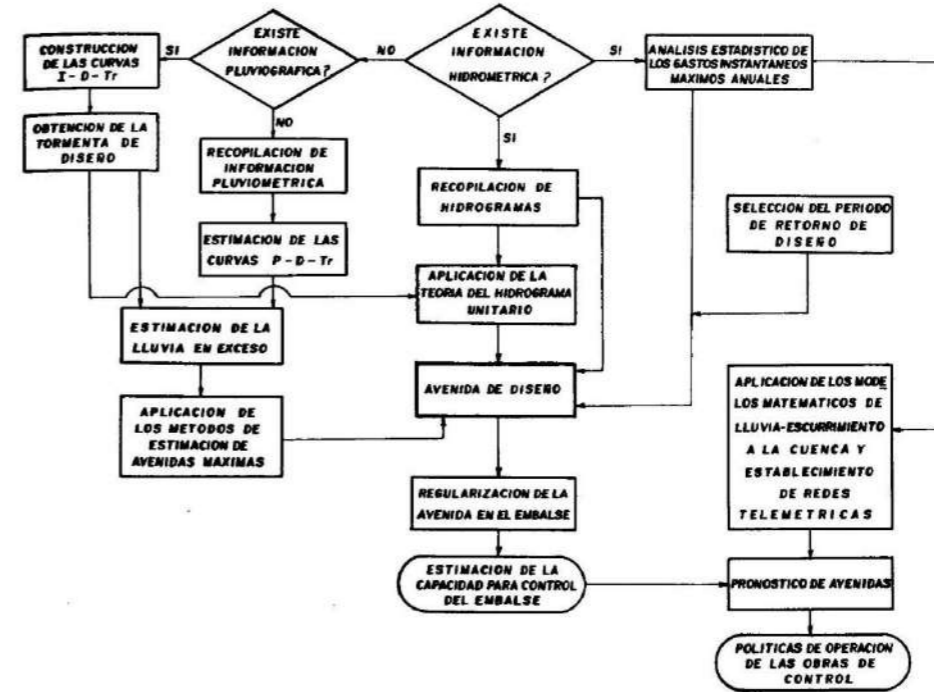
En la Fig. 1.9 siguiente, se muestra esquemáticamente el desarrollo de un estudio hidrológico para un proyecto de aprovechamiento, el cual permite definir la capacidad del embalse y las normas o políticas de las extracciones.

Fig. 1.9  
SECUENCIA DEL ESTUDIO HIDROLOGICO DE UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO.  
( D. F. Campos Aranda, 1981 ).



En la Fig. 1.10 siguiente se ilustra esquemáticamente el estudio hidrológico que definirá las avenidas, la magnitud del proyecto de control, las obras complementarias y las políticas de operación de tales obras.

Fig. 1.10  
SECUENCIA DEL ESTUDIO HIDROLOGICO DE UN PROYECTO DE CONTROL.  
( D. F. Campos Aranda, 1981 ).



Con respecto a los estudios hidrológicos de las estructuras que sólo dan paso a las avenidas, como son todos los tipos de obras de drenaje, éstos consistirán básicamente en la obtención de la avenida de diseño y en la elaboración de un estudio hidráulico para su diseño o revisión de funcionamiento.

## 1.8 ENFOQUE Y SOLUCION DE LOS PROBLEMAS HIDROLOGICOS.

### 1.8.1 ENFOQUE DE LOS PROBLEMAS HIDROLOGICOS.

Como se indicó en el inciso 1.4.2.1, las complejas características de los procesos naturales que tienen relación con los fenómenos hidrológicos hacen difícil y prácticamente inabordable el análisis de éstos mediante un razonamiento deductivo riguroso; entonces, casi nunca es posible partir de una ley básica y determinar con base a ella el resultado hidrológico necesario (10,4). Debido a esto último, es necesario partir de un conjunto de datos observados del fenómeno hidrológico bajo estudio, analizarlos estadística y probabilísticamente para establecer las normas que rigen tal fenómeno.

Un panorama general sobre los diversos tipos de procesamientos y análisis que se

realizan con los datos hidrológicos se presenta en la referencia recomendada B, - sugiriéndose su consulta.

Este sistema de trabajo en la hidrología constituye el enfoque que se da a los -- problemas hidrológicos y por ello, como indica E.M. Wilson (21,1), " la Hidrología es básicamente una ciencia interpretativa ".

#### 1.8.2 SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS HIDROLOGICOS.

La hidrología resultará para los alumnos de alguna de las ramas de la ingeniería un tema muy interesante, pero notoriamente diferente a la mayoría de las materias de los cursos de ingeniería; ya que los fenómenos naturales que conciernen a la -- hidrología, no son susceptibles de un análisis riguroso como los que son posibles en la mecánica. Hay, por lo tanto, una mayor variedad de métodos, casi siempre empíricos, más campo de juicio para el calculista y una aparente falta de precisión en las soluciones a los problemas planteados.

Sin embargo, la precisión de las soluciones hidrológicas puede compararse favorablemente con las de cálculos ingenieriles, en las que sus incertidumbres se ocultan frecuentemente con el empleo de coeficientes de seguridad, procedimientos de diseño rígidamente tipificados y con las hipótesis conservadoras en relación a -- las propiedades de los materiales (10,XVI).

En general, las soluciones a los problemas que se plantean en la hidrología se obtienen a través de los análisis estadísticos y probabilísticos de la información disponible, como ejemplo de tales problemas se tienen la estimación de valores extremos todavía no observados y por lo tanto, no incluidos en la muestra disponible de corta duración, la determinación de las características hidrológicas en lugares donde no se dispone de datos por no haberse recabado información y la estimación de los efectos de la acción humana en las características hidrológicas de una zona o cuenca (10,4).

Conviene también aclarar, que cada problema hidrológico es único y sus conclusiones cuantitativas de su análisis no son aplicables a otros problemas.

#### 1.8.3 LIMITACIONES DE LA HIDROLOGIA.

Con respecto a las limitaciones que se tendrán en la hidrología, para dar solución a los problemas que en ella se plantean, éstas son de dos tipos:

A. Limitación debida a la complejidad e ignorancia en los procesos naturales con los cuales se trabaja.

B. Limitación debida a la cantidad de información hidrológica disponible.

De hecho, cuando no se dispone de datos históricos adecuados prácticamente no se puede abordar un estudio hidrológico cuantitativo y conforme se disponga de una mayor cantidad de información hidrológica se calibrarán los criterios asequibles y se propondrán otros, para tener así mayor seguridad en los resultados o conclusiones hidrológicas a que se llegue (1,7).

### 1.9 FUNCIONES DEL ESPECIALISTA EN HIDROLOGIA.

#### 1.9.1 TIPOS DE ESPECIALISTAS EN HIDROLOGIA.

Se puede decir que los diferentes niveles de enseñanza y capacitación en hidrología teórica o aplicada, reflejan fielmente la estructura y necesidades de las instituciones y dependencias gubernamentales, que a su vez son influenciadas por las condiciones naturales (recursos), económicas, sociales, políticas y administrativas del país, pues ello determina el nivel y carácter de las labores o trabajos -- que realizará el hidrólogo (1,7).

En el caso del ingeniero civil, del agrónomo o del geólogo, su formación en hidrología no será completa y sus conocimientos se limitarán a ciertas bases sólidas y diversas cuestiones y aptitudes prácticas, que le permitirán trabajar en tal área y además poder llevar a cabo otros trabajos o funciones de su propia especialidad (1,7).

Con respecto al nivel de capacitación en hidrología se pueden distinguir cuatro grupos o niveles principales, cuyos límites no son totalmente claros (18,15), éstos son:

**GRUPO 1: INVESTIGADORES Y PROFESORES DE HIDROLOGIA.** Los investigadores se inician comúnmente a nivel posdoctoral y sus funciones incluyen la realización de estudios teóricos de carácter científico y el desarrollo de nuevas técnicas de observación y procesamiento de datos. Para el caso del profesor de hidrología su formación deberá de ser bastante sólida y sus actividades abarcarán el campo del investigador y del ingeniero hidrólogo.

**GRUPO 2: INGENIERO HIDROLOGO.** Tomando en cuenta que la hidrología superficial se incluye en los programas de varias carreras ingenieriles, el ingeniero hidrólogo podrá ser cualquier profesional, cuyos estudios más completos en hidrología hallan sido realizados por alguno de los tres medios siguientes: curso universitario completo (licenciatura), curso de posgrado (ver Apéndice I) o bien, formación a través de su ejercicio profesional. En todos los casos sus actividades se relacionarán con el estudio de los fenómenos hidrológicos que tienen importancia o ingerencia en el diseño, construcción y operación de proyectos de aprovechamiento o control de los recursos hidráulicos.

**GRUPO 3: TECNICOS.** Cuya preparación consiste en capacitación por medio de manuales y libros de instrucciones o mediante su capacitación en su trabajo, bajo supervisión de un hidrólogo. Sus funciones abarcan el montaje y mantenimiento de estaciones hidrométricas y/o climatológicas, la toma de medidas de comprobación, el procesamiento de los datos obtenidos, la supervisión de los observadores y ciertas labores administrativas locales.

**GRUPO 4: PERSONAL AUXILIAR (OBSERVADORES).** Sus funciones consisten en la lectura y mantenimiento de los instrumentos hidrológicos y trabajos simples de cálculo y dibujo.

Para el caso concreto del ingeniero civil, podrá desarrollar las funciones del -- ingeniero hidrólogo, después de uno o dos años de práctica en tal área, o bien, posteriormente a un curso de posgrado.

Con respecto a este último punto, en el Apéndice I se citan las instituciones recomendadas para realizar estudios de posgrado en hidrología, tomadas de la referencia recomendada I, además, se presenta una lista de los cursos de especialización en hidrología y recursos hidráulicos que se imparten en el mundo (ref. 9).

Para el ingeniero civil dedicado a los trabajos hidrológicos será necesario y -- prácticamente imprescindible el contar con una colección de manuales y libros de hidrología, así como otras publicaciones relacionadas con el tema; para la formación de tal colección se recomienda consultar el Apéndice II.

#### 1.9.2 FUNCIONES DEL INGENIERO HIDROLOGO.

Para elaborar los estudios hidrológicos necesarios para los proyectos de aprovechamiento y/o control, primeramente se debe establecer un adecuado programa de -- investigaciones hidrológicas, que comprenderán la recopilación e interpretación de datos climatológicos (precipitación, evaporación y temperaturas, principalmente) e hidrométricos (volúmenes escurridos y avenidas), siendo el ingeniero hidrólogo el más indicado para realizar tales trabajos.

Con respecto al procesamiento de la información, es conveniente indicar que el -- ingeniero hidrólogo como los demás profesionales, utiliza herramientas analíticas basadas en sus teorías, las cuales le permiten obtener respuestas cuantitativas que resuelven el problema; pero además, sucesivamente a elaborado mejores implementos, para observar los procesos hidrológicos y probar sus teorías (1,6).



Sin embargo, la aplicación de las técnicas analíticas es sólo uno de los pasos - que son necesarios para desarrollar un proyecto de aprovechamiento o control, en general se siguen los 8 pasos siguientes (1,6):

- 1o. Determinación precisa del problema que se quiere resolver, con las estructuras en proyecto.
- 2o. Identificación y acopio de la información disponible.
- 3o. Selección de alternativas (opciones factibles).
- 4o. Análisis de las alternativas aplicando métodos analíticos y algunas veces experimentales.
- 5o. Evaluación cuantitativa de los resultados.
- 6o. Evaluación de los factores no técnicos.
- 7o. Formulación de los estudios definitivos.
- 8o. Elaboración de recomendaciones para la construcción y mantenimiento de las obras.

En nuestro país, la información climatológica e hidrométrica es concentrada y publicada básicamente por la S.A.R.H., a través de su Dirección de Hidrología y del Servicio Meteorológico Nacional. Mayores detalles sobre la información hidrológica disponible en la República Mexicana se tienen en el Apéndice III.

#### 1.10 LA HIDROLOGIA EN MEXICO\*.

##### 1.10.1 PRESENTE Y FUTURO.

Prácticamente en todo el mundo, pero principalmente en los países en desarrollo y México no es la excepción, el aumento o crecimiento de la población hace que el agua resulte escasa con respecto a las necesidades, lo que ha originado el inicio de una política hidráulica orientada hacia el mejor aprovechamiento de los almacenamientos disponibles y hacia una rigurosa planeación para el futuro. Esto último, requiere del perfeccionamiento de los métodos y técnicas de los análisis hidrológicos, pues se requiere: procesar y obtener conclusiones sobre los datos de lluvias, evaporaciones y escurrimientos, la previsión de eventos extremos (máximos y mínimos) de precipitaciones y escurrimientos, la estimación del transporte y depósito de los sedimentos, etc.

Lo anterior se hizo palpable en México, aproximadamente a partir de 1965, cuando la hidrología experimentó un gran cambio, de manera que los ingenieros civiles e hidráulicos, los cuales estaban resolviendo problemas eminentemente hidráulicos, tuvieron que atacar problemas de carácter hidrológico con técnicas novedosas, como por ejemplo: el análisis de series cronológicas, los enfoques de caja negra, los métodos de simulación y los enfoques hidrometeorológicos (15,529).

En la actualidad, los estudios hidrológicos de las obras hidráulicas en proyecto o en operación (estudios de pronóstico o de revisión), han adquirido un papel casi primordial, de manera que todas las secretarías de estado (S.A.R.H., C.F.E., S.A.H.O.P., etc.) vinculadas con los proyectos de aprovechamiento y control, tienen oficinas que incluyen un grupo de ingenieros dedicados a los análisis hidrológicos de sus obras.

Se puede decir que la hidrología en México ya ha alcanzado el nivel de importancia que merece y por otra parte, está encaminada hacia el período de teorización, ya que los logros de su período predecesor de racionalización, están perfectamente establecidos en nuestro país (Ver inciso 1.3 anterior).

Las técnicas hidrológicas modernas han abierto enormes perspectivas de análisis, ya que por ejemplo, los métodos de simulación permiten estudiar sistemas complejos que anteriormente no eran abordables, permitiendo además realizar los estudios económicos de factibilidad y jerarquización de las obras en proyecto (15,523).

\* Con excepción de ciertas ideas tomadas de las referencias bibliográficas 15 y 3, prácticamente todo el contenido de este inciso son opiniones propias del autor.

Sin embargo, la hidrología deberá de evolucionar más y tender hacia la formulación de modelos que permitan prever las consecuencias de una determinada política hidráulica en una cuenca o región del país, pero tomando en cuenta los problemas de carácter eminentemente social, la contaminación y la reutilización de las aguas poco contaminadas o tratadas.

##### 1.10.2 ERRORES Y NECESIDADES.

De manera concreta se pueden citar los siguientes 5 errores en la hidrología que se aplica y desarrolla en nuestro país, éstos son:

**PRIMERO:** Mientras los métodos hidrológicos para estimar escurrimientos, evaporaciones, avenidas, etc., en cuencas sin información hidrológica, sean utilizados sin ser contrastados con la información disponible en México, se estará verdaderamente retornando al empirismo, pues la aplicación de cada método en cuencas -- distintas a aquéllas en las que fueron deducidos, puede conducir en algunos casos a graves errores, debido a las diferencias existentes entre las cuencas.

**SEGUNDO:** Aunado al punto anterior, cabe citar la escasez de estudios climatológicos en México, que permitan regionalizar y faciliten la obtención de las curvas Precipitación-Duración-Frecuencia y Precipitación-Area-Duración, para tales regiones o cuencas específicas; al no existir dichos estudios se tiene la necesidad de hacer estimaciones de lluvias de duraciones reducidas en base a relaciones empíricas, principalmente debido a la escasez de pluviógrafos.

**TERCERO:** No existe una normalización en los criterios de diseño de las obras hidráulicas, así por ejemplo, la avenida de diseño del vertedor de un pequeño embalse, una oficina o despacho de hidrología la estima para 100 años de intervalo de recurrencia (período de retorno) y en cambio otra, sugiere que sea para 1,000 años. Similarmente, en las obras de excedencia de los grandes embalses se manejan (erróneamente) períodos de retorno de 10,000 años, cuando el análisis hidrológico de estas obras debe ser a través del concepto meteorológico de precipitación máxima probable.

**CUARTO:** El punto anterior se agudiza aún más cuando cada oficina de hidrología - de determinada Secretaría de estado, publica su manual o instructivo para los análisis hidrológicos que en ella se realizan, siendo este material de uso exclusivo y con ediciones limitadas, además de no haber sido sometido a una disertación y análisis crítico, en el que participaran un número suficiente de hidrólogos del país. Es, en resumen, un error grave el escaso intercambio de la literatura hidrológica que se está generando.

**QUINTO:** Urge realizar el balance hidrológico de las cuencas más pobladas de nuestro país, para poder planificar el futuro desarrollo regional lo cual incluye, la factibilidad de nuevos aprovechamientos hidráulicos.

Con respecto a las necesidades en hidrología del país, éstas derivan de los errores señalados y se pueden resumir en las 5 siguientes:

**PRIMERA:** Elaborar estudios de contraste de la metodología empírica utilizada, para definir su confiabilidad, zonas de aplicabilidad, etc. En base a la información hidrológica disponible actualmente, emprender estudios de investigación para generar nuevos criterios, corregir o modificar los que están en uso y tratar de ampliar el horizonte del conocimiento teórico.

**SEGUNDA:** Ampliación de la red pluviográfica e hidrométrica del país, principalmente para instrumentar cuencas medianas y pequeñas y poder realizar estudios de investigación en ellas para llegar a criterios más adecuados y confiables. Respecto a la red pluviométrica, sólo se requiere que sea complementada en ciertas zonas del país, para que cumpla con las especificaciones de los diversos criterios de diseño de este tipo de redes (ver capítulo 4).

**TERCERA:** Organizar reuniones de trabajo para discutir y mejorar las publicaciones.

nes sobre hidrología existentes y publicar otras que llenen las necesidades actuales y futuras. Además, de convocar a conferencias y seminarios para tener un foro para presentación de las modernas contribuciones o investigaciones realizadas; lo anterior favorecerá el intercambio de la literatura hidrológica.

CUARTA: La organización de cursos intensivos y de especialización en hidrología y meteorología, así como el establecimiento de una maestría en hidrología.

QUINTA: En la actualidad, todavía el estudio hidrológico de un embalse mediano y principalmente, el de uno pequeño, es realizado en forma aislada, es decir, sin contemplar sus efectos o consecuencias hidrológicas, en el régimen de la corriente y en las obras o captaciones aguas abajo. Lo anterior constituye una seria aberración y los estudios de balance hidrológico de cuencas, permitirán definir las áreas o zonas con potencial hidráulico disponible y aquellas parcialmente aprovechadas, en donde la construcción de un nuevo embalse no se recomienda, o éste está limitado a una cierta capacidad, o a un determinado volumen por aprovechar.

#### 1.11 RESUMEN DEL CAPITULO.

En este capítulo se han integrado los conceptos y temas que constituyen una introducción a la Hidrología Superficial, como ciencia y como base de los diseños de los proyectos de aprovechamiento y control de los recursos hidráulicos.

Se ha abordado con detalle el concepto académico del Ciclo Hidrológico, por ser éste el punto de partida para el estudio y comprensión del campo de la hidrología general. Por último, se describieron los enfoques y técnicas de solución de los problemas hidrológicos y se bosquejó el estado actual de la hidrología superficial en nuestro país.

#### APENDICE I: INSTITUCIONES Y CURSOS RECOMENDADOS PARA REALIZAR ESTUDIOS DE POSGRADO EN HIDROLOGIA SUPERFICIAL Y APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS.

##### INSTITUCIONES NACIONALES:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (U.N.A.M.).  
División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería (DESFI).  
Ciudad Universitaria, México 20, D.F.

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL (I.P.N.).  
Escuela de Graduados de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.  
Unidad Profesional Zacatenco, México 14, D.F.

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M.  
Calle Tacuba 5, Primer piso.  
México 1, D.F.

##### INSTITUCIONES EXTRANJERAS (referencia recomendada 1):

###### 1. En los Estados Unidos de América:

UNIVERSITY OF ARIZONA.  
Department of Hydrology and Water Resources.  
Attn. Prof. S.N. Davis.  
Tucson, AZ 85721, U.S.A.

COLORADO STATE UNIVERSITY.  
Department Civil Engineering.  
Attn. Chairman of Civil Engineering.  
Fort Collins, CO 80521, U.S.A.

UNIVERSITY OF ILLINOIS.  
Department Civil Engineering.  
Attn. V.T. Chow.  
Urbana, IL 62801, U.S.A.

PURDUE UNIVERSITY.  
Department Civil Engineering.  
Attn. G.H. Toebes.  
West Lafayette, IN 47906, U.S.A.

TEXAS TECH UNIVERSITY.  
Department Civil Engineering.  
Attn. R.M. Sweazy.  
Lubbock, TX 79409, U.S.A.

WASHINGTON STATE UNIVERSITY.  
Department College of Engineering.  
Attn. J.F. Orsborn.  
Pullman, WA 99163, U.S.A.

###### 2. En Europa:

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE.  
Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique et d'Hidraulique. 2 Rue Charles Camichel. 31 Toulouse 01, Francia.

INSTITUTE OF HYDROLOGY.  
Crowmarsh Gifford.  
Wallingford, Oxon OX10 8BB, England.

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.  
International Courses.  
P.O. Box 5, Delft, Holanda.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA.  
Centro de Estudios Hidrográficos.



Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, No.3.  
Madrid 5, España.

3. En Rusia:

GOSUDARSTVENNYI GIDROLOGICHESKII INSTITUT.  
(Instituto Hidrológico del Estado).  
Leningrado, Rusia.

CURSOS SEMESTRALES DE ENERO A JUNIO (relación recabada en la referencia 9):

INTERNATIONAL POSTGRADUATE TRAINING COURSE IN HYDROLOGY.  
Prague Agricultural University.  
Department of Water Resources.  
V5Z Praha-Suchdol, Czechoslovakia.  
(Praga, Checoslovaquia).

INTERNATIONAL COURSE IN HYDROLOGY.  
Centro Internazionale di Idrologia "Dino Tonini".  
Via Loredan 20, 35100 Padova, Italy.  
(Padua, Italia).

INTERNATIONAL POSTGRADUATE COURSE ON HYDROLOGICAL METHODS  
FOR DEVELOPING WATER RESOURCES MANAGEMENT.  
Vituki P.O. Box 27, H-1453 Budapest 92, Hungary.  
(Budapest, Hungría).

INTERNATIONAL COURSE IN OPERATIONAL AND APPLIED HYDROLOGY.  
E.P.F. de Lausanne, Institut de Genie Rural.  
Bassenges, 1024 Ecublens, Switzerland.  
(Suiza).

CURSO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA GENERAL Y APLICADA.  
Paseo Bajo de la Virgen del Puerto No. 3.  
Madrid 5, España.

CURSOS MENSUALES EN DIFERENTES EPOCAS DEL AÑO (referencia 9):

INTERNATIONAL COURSE FOR HYDROLOGISTS.  
International Institute for Hydraulics and  
Environmental Engineering.  
P.O. Box 3015, 2601 DA Delft, The Netherlands.  
(Delft, Holanda).

INTERNATIONAL HIGHER HYDROLOGICAL COURSE.  
Geography Department, Moscow State Lomonosov University.  
117234 Moscow V-234, U.S.S.R.  
(Moscú, Rusia).

INTERNATIONAL POSTGRADUATE COURSE IN HYDROLOGY.  
Department of Engineering Hydrology.  
University College, Galway, Ireland.  
(Galway, Irlanda).

APENDICE II: RELACION DE LOS PRINCIPALES LIBROS SOBRE HIDROLOGIA SUPERFICIAL, DISPONIBLES ACTUALMENTE.

1. MANUALES DE HIDROLOGIA EN INGLES:

HANDBOOK OF APPLIED HYDROLOGY. A Compendium of Water-Resources Technology. Editor-in-chief: Ven Te Chow. -- McGraw-Hill Book Company. New York, U.S.A. 1964

HANDBOOK ON THE PRINCIPLES IN HYDROLOGY. A General Text with Special Emphasis on Canadian Conditions. Editor-in-chief: Donald M. Gray. Water Information Center Publications. New York, U.S.A. 1973

SECTION 4: HYDROLOGY of The National Engineering Handbook. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Washington, D.C., U.S.A. 1972

3. LIBROS SOBRE HIDROLOGIA EN INGLES:

INTRODUCTION TO HYDROLOGY. Second Edition. W. Viessman, J.W. Knapp, G.L. Lewis and T.E. Harbaugh. Harper & Row Publishers. New York, U.S.A. 1977

WATER IN ENVIRONMENTAL PLANNING. T. Dunne and L.B. Leopold. W.H. Freeman and Company. San Francisco, U.S.A. 1978

HYDROLOGY. A Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling. A.J. Raudkivi. Pergamon Press. London, England. 1979

ENGINEERING HYDROLOGY. Second Edition. E.M. Wilson. The MacMillan Press Ltd. London, England. 1974

PROBLEMS IN APPLIED HYDROLOGY. E.F. Schulz. Water Resources Publications. Colorado, U.S.A. Revised 1976

DYNAMIC HYDROLOGY. P.S. Eagleson. -- McGraw-Hill Book Company. New York, U.S.A. 1970

4. LIBROS SOBRE HIDROLOGIA EN ESPAÑOL:

HIDROLOGIA PARA INGENIEROS. Segunda

2. MANUALES DE HIDROLOGIA EN ESPAÑOL:

MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. Sección A: HIDROTECNIA, Tema 1: HIDROLOGIA, comprende 12 capítulos. Comisión Federal de Electricidad. México, D.F. 1980

MANUAL DE HIDROLOGIA (6 Volúmenes). -- Editor Principal: Rafael Heras R. Publicación No. 88 del Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid, España. -- 1972

HIDROLOGIA SUBTERRANEA (Tomo 1). Directores de Edición: Emilio Custodio G. y Manuel R. Llamas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 1976

APPLIED HYDROLOGY. R.K. Linsley, M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus. McGraw-Hill Book Company and Kogakusha Company, Ltd Tokyo, Japan. 1949

HYDROLOGY. Second Edition. C.O. Wisler and E.F. Brater. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 1959

PRINCIPLES OF HYDROLOGY. Second Edition. R.C. Ward. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited. London, England. -- 1975

HYDROLOGY FOR ENGINEERS AND PLANNERS. A.T.Hjelmfelt and J.J. Cassidy. Iowa State University Press. Iowa, U.S.A. -- 1975

SYSTEMATIC HYDROLOGY. J.C. Rodda, R.A. Downing and F.M. Law. Newnes-butsworths. London, England. 1976

SYSTEMS APPROACH TO WATER MANAGEMENT. Edited by A.K. Biswas. McGraw-Hill -- Book Company and Kogakusha Ltd. Tokyo, Japan. 1976

TRATADO DE HIDROLOGIA APLICADA. Segun

edición. R.K. Linsley, M.A. Kohler y J.L.H. Paulus. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A. Bogotá, Colombia. 1977

HIDROLOGIA Y RECURSOS HIDRAULICOS (- 2 tomos). Rafael Heras R. Publicación No. 120 del Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid, España. 1976

HIDROLOGIA MODERNA. 3a. Impresión. R.G. Kazmann. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F. 1975

#### 5. LIBROS SOBRE HIDROLOGIA EN FRANCES:

HYDROLOGIE DE SURFACE. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. M. Roche. Gauthier-Villars Editeur. Paris, France. 1963

INITIATION A L'ANALYSE HYDROLOGIQUE. P. Dubreuil. Mason & Cie, Editeurs. Paris, France. 1974

#### 6. LIBROS SOBRE TOPICOS ESPECIFICOS DE HIDROLOGIA EN INGLES.

PROBABILITY AND STATISTICS IN HYDROLOGY. V. Yevjevich. Water Resources Publications. Colorado, U.S.A. 1972

STATISTICAL METHODS IN HYDROLOGY. C. T. Haan. The Iowa State University Press. Iowa, U.S.A. 1977

APPLIED MODELING OF HYDROLOGIC TIME SERIES. J.D. Salas, J.W. Delleur, V. Yevjevich and W.L. Lane. Water Resources Publications, Colorado, U.S.A. 1980

STOCHASTIC WATER RESOURCES TECHNOLOGY. N.T. Kottegoda. The MacMillan Press, Ltd. London, England. 1980

#### 7. LIBROS SOBRE TOPICOS ESPECIFICOS DE HIDROLOGIA EN ESPAÑOL:

MANUAL PARA LA ESTIMACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN CUENCAS Y PRESAS PEQUEÑAS. D.F. Campos Aranda. Dirección General de Obras Hidráulicas y de Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural, S.A.R.H. México, D.F. 1982

METODOS SIMPLIFICADOS PARA EL DISEÑO HIDROLOGICO DE UN EMBALSE. D.F. Campos Aranda. Trabajo de Investigación I, presentado en la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. México, D.F. 1981

DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD PARA SEDIMENTOS EN LOS EMBALSES. D.F. Campos Aranda. Tesis presentada para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, publica

da edición. G. Remenieras. Editores - Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España. 1974

Apuntes de Clase para el Curso de HIDROLOGIA PRACTICA (Partes I y II). Silviu Stanescu. Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología. Bogotá, Colombia. 1974

HIDROLOGIA. Primera Parte. R. Springall G. Publicación D7 del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. México, D.F. 1970

APPLICATIONS DE L'HYDROLOGIE A LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU. Au Niveau de la Planification et de la Conception. V. Klemeš. Organisation Météorologique Mondiale. Hydrologie Opérationnelle Rapport No. 4. Geneve, Suisse. 1975

RESERVOIR CAPACITY AND YIELD. T.A. -- McMahon and R.G. Mein. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, The Netherlands. 1978

FLOODS. A Geographical Perspective. R. Ward. The MacMillan Press Ltd. London, England. 1978

RIVER RUNOFF REGULATION AND WATER-MANAGEMENT CALCULATIONS. Second revised edition. P.A. Lyapichev. Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem, Israel. 1975

MATHEMATICAL MODELS IN HYDROLOGY. R. T. Clarke. Irrigation and Drainage Paper 19. FAO. Rome, Italy. 1973

da y de venta en la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. México, D.F. 1980

HIDROLOGIA. Capítulo 8: Análisis Estadístico y Probabilístico de Datos Hidrológicos. R. Springall G. Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. México, D.F. 1975

#### 8. LIBROS DE CONSULTA GENERAL RELACIONADOS CON LA HIDROLOGIA:

HANDBOOK OF APPLIED HYDRAULICS. Third edition. C.V. Davis and K.E. Sorensen, editor-in-chief and Co-ordinator. McGraw-Hill Book Company and Kogakusha Company, Ltd. Tokyo, Japan. 1969

ENGINEERING HYDRAULICS. Proceedings of the Fourth Hydraulics Conference. Edited by Hunter Rouse. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 1950

THE WATER ENCYCLOPEDIA. A Compendium of Useful Information on Water-Resources. Edited by D.K. Todd. Water Information Center. New York, U.S.A. 1970

DESIGN OF SMALL DAMS. Second edition and revised reprint. U.S.D.I., Bureau of Reclamation. Washington, D.C., U.S.A. 1977

WATER RESOURCES AND THE NATIONAL WELFARE. W.U. Garstka. Water Resources Publications. Colorado, U.S.A. 1978

#### 9. ORGANISMOS Y ASOCIACIONES QUE PUBLICAN LIBROS, ARTICULOS O 'JOURNALS' SOBRE HIDROLOGIA:

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. P. O. Box 5, CH-1211. Ginebra, Suiza.

UNESCO. 7, Place de Fontenoy. 75700 París, Francia.

FAO. Via delle Terme di Caracalla. - 00100 Roma, Italia.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SCIENTIFIC HYDROLOGY (IASH). Rue del Ronces, 61. Gentbrugge, Bélgica.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). 22 Avenue de Wagram. - 75008 París, Francia.

THE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). 345 East Forty-Seventh Street. New York, N.Y. 10017, U.S.A.

HANDBOOK OF DAM ENGINEERING. Edited by A.R. Golzê. Van Nostrand Reinhold Company. New York, U.S.A. 1977

APPLIED HYDRAULICS IN ENGINEERING. Second edition. H.M. Morris and J.M. Wiggert. The Ronald Press Company. New York, U.S.A. 1972

HYDROLOGY FOR TRANSPORTATION ENGINEERS Edited by T.G. Sanders. U.S.D.T., Federal Highway Administration. Washington, D.C., U.S.A. 1980

INGENIERIA DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS. 4a. Impresión. R.K. Linsley y J. B. Franzini. Compañía Editorial Continental, S.A. México, D.F. 1972

GUIA DE PRACTICAS HIDROMETEOROLOGICAS. Segunda edición. OMM-No. 168. TP. 82. Organización Meteorológica Mundial. - Ginebra, Suiza. 1970

AMERICAN GEOPHYSICAL UNION (AGU). Suite 435, 2100 Pennsylvania AV. N.W. -- Washington, D.C. 20037, U.S.A.

AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION. 206 East University Av. Urbana, Illinois, U.S.A.

U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE. Washington, D.C. 20402, U.S.A.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. The Hydrologic Engineering Center. 609 Second Street. Davis, CA 95616, U.S.A.

CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS. Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3. - Madrid 5, España.

COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO. Tepic 40, Col. Roma. México 7, D.F.

APENDICE III: INFORMACION HIDROLOGICA DISPONIBLE EN LA REPUBLICA MEXICANA.

En la tabla siguiente se ha concentrado la relación de publicaciones periódicas (mensuales y anuales) y aperiódicas sobre información climatológica e hidrométrica, disponibles en México. Posteriormente, se citan las direcciones de las dependencias gubernamentales que las publican, para su adquisición.

INFORMACION HIDROLOGICA DISPONIBLE EN LA REPUBLICA MEXICANA.

PUBLICACION.	ALCANCE.	FRECUENCIA.	DEPENDENCIA.
Boletín Hidrológico.	Datos Hidrométricos. **	Periódica.	Dirección de Hidrología, S.A.R.H.
Boletín Climatológico.	Datos Climatológicos región Hidrológica No. 12.	Información hasta Dic. de 1972.	Dirección de Hidrología, S.A.R.H.
Boletín Climatológico.	Datos Climatológicos región Hidrológica No. 36	Información hasta Dic. de 1978.	Dirección de Hidrología, S.A.R.H.
Boletín Climatológico.	Datos Climatológicos región Hidrológica No. 37.	Información hasta Dic. de 1978.	Dirección de Hidrología, S.A.R.H.
Boletín del Servicio Meteorológico Nacional.	Observaciones Pluviométricas y Termométricas. *	Mensual.	Dirección General de Geografía y Meteorología, S.A.R.H.
Boletín Hidrológico del Valle de México	Datos Hidrométricos y Meteorológicos del Valle de México.	Anual.	Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, S.A.R.H.
Boletín Hidrométrico.	Datos Hidrométricos y Climatológicos del río Papaloapan.	Anual.	Comisión del Papaloapan, S.A.R.H.
Boletín Hidrológico.	Datos Hidrométricos. *	Periódica.	Comisión Federal de Electricidad.
Boletín Meteorológico.	Datos Meteorológicos. *	Periódica.	Comisión Federal de Electricidad.
Boletín Hidrométrico	Escurremientos del río Colorado y otros ríos Internacionales del Oeste.	Anual.	Comisión Internacional de Límites y Aguas, S.R.E.

\* Se refieren a sus estaciones en toda la República.

\*\* Abarca información por región Hidrológica. El país está dividido en 37 regiones Hidrológicas.

DIRECTOR GENERAL DE ESTUDIOS, S.A.R.H.  
San Antonio Abad No. 32, 11o. piso.  
C.P. 06820. México, D.F.

DIRECTOR GENERAL DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, S.A.R.H.  
Av. Observatorio No. 192, Tacubaya.  
C.P. 11870. México, D.F.

VOCAL SECRETARIO DE LA COMISION DEL RIO PAPALOAPAN, S.A.R.H.  
Domicilio conocido, Cd. Alemán, Veracruz.

VOCAL SECRETARIO DE LA COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO, S.A.R.H.  
Balderas No. 55, 5o. piso.  
C.P. 06050. México, D.F.

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS HIDROMETEOROLOGICOS, C.F.E.  
Oklahoma No. 85, 1er. piso.  
C.P. 03810. México, D.F.

INGENIERO RESIDENTE, C.I.L.A.  
Pino Suárez No. 3,456  
C.P. 88000. Nuevo Laredo, Tamaulipas.

BIBLIOGRAFIA UTILIZADA:

- CAMPOS ARANDA, D.F. " La Enseñanza de la Hidrología en la Carrera de Ingeniero - Civil ". Escuela de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. Agosto de 1978 (19 páginas).
- COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO. " Plan Nacional Hidráulico 1975. Primera Parte: MARCO DE REFERENCIA ". Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F. Reimpresión de la segunda edición. Julio de 1977.
- COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO. " Notas sobre el estado actual de la Hidrología Superficial en México ". Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F. Información proporcionada por el Ing. Manuel Arango, Director de Capacitación Enero de 1982.
- CHOW, V.T. " Hydrology and Its Development ". section 1 in the Handbook of Applied Hydrology, page 1-1 to 1-22, editor-in-chief Ven Te Chow. McGraw-Hill Book Company. New York, U.S.A. 1964
- DOMINGUEZ MORA, R. " Consideraciones Generales. capítulo 1, tema 1: Hidrología, - sección A: HIDROTECNIA ". Manual de Diseño de Obras Civiles. Comisión Federal de Electricidad. México, D.F. 1980 (13 páginas).
- DOOGE, J.C.I. " Naturaleza y Componentes del Ciclo Hidrológico ". Parte I, páginas 1 a 17 del libro La influencia del Hombre en el Ciclo Hidrológico, Estudio - sobre riego y avenamiento No. especial 17, Grupo de Trabajo Unesco/FAO sobre el DHI. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1974.
- EAGLESON, P.S. " Dynamic Hydrology ". chapter Two: The Hydrologic Cycle, page 5 to 11. McGraw-Hill Book Company. New York, U.S.A. 1970.
- HERAS R.; R. " El Balance Hidrológico ". capítulo 6, páginas 829 a 865 del volumen 2: El Ciclo Hidrológico, del Manual de Hidrología. Instituto de Hidrología - del Centro de Estudios Hidrográficos. Publicación No. 88. Madrid, España. Diciembre de 1972.
- INTERNATIONAL WATER RESOURCES ASSOCIATION. " Water International ". Revista bimestral de la IWRA, diversos números de los años 1980 y 1981.
- LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. y PAULUS, J.L.H. " Hidrología para Ingenieros ". capítulo 1: Introducción, páginas 1 a 5. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A. Bogotá, Colombia. 1977.
- LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. and PAULUS, J.L.H. " Applied Hydrology ". chapter 1: Introduction, page 1 to 4. McGraw-Hill Book Company and Kogakusha Company. Tokyo, Japan. 1949.
- LLAMAS, M.R. y GALOFRE, A. " Conceptos Básicos y Definiciones ". sección 5, capítulo 5.3: Situación y Movimiento del Agua en la Hidrosfera, páginas 266 a 280. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 1976.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL. " Glosario Hidrológico Internacional ". WMO/ OMM/BMO - No. 385. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. Primera edición, 1974.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL. " EL Clima y El Agua ". publicación No. 463

de la OMM. Ginebra, Suiza. 1977 (24 páginas).

15. SANCHEZ BRIBIESCA, J.L. " Pasado, Presente y Probable Futuro del Ingeniero Hidráulico en México ". Tema 5: Temas Especiales, Ponencia 5, páginas 521 a 525 de la memoria del 11 Congreso Nacional de Hidráulica, 27 de Noviembre al 1o. de Diciembre de 1972. Culiacán y Mazatlán, Sinaloa, México.
16. SANCHEZ ORDÓÑEZ, J. " Modelos Matemáticos en Hidrología ". capítulo 1: Conceptos Generales, páginas 3 a 13. Publicación Aperiódica Número 33 del Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología. Bogotá, Colombia. Diciembre de 1974.
17. STANESCU, S. " Apuntes de Clase para el Curso de Hidrología Práctica (parte -- 1) ". capítulo 1: Introducción y Generalidades, páginas 5 a 22. Publicación Aperiódica Número 24 del Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología. Bogotá, Colombia. Revisado e impreso en junio de 1974.
18. UNESCO. " La Enseñanza de la Hidrología ". Editorial de la Unesco, Contribución Técnica sobre Hidrología No. 13. París, Francia. 1975 (36 páginas).
19. VIESSMAN, W., KNAPP, J.W., LEWIS, G.L. and HARBAUGH, T.E. " Introduction to Hydrology ". chapter 1: Introduction, page 1 to 13. Harper & Row, Publishers. -- New York, U.S.A. Second edition. 1977
20. WARD, R.C. " Principles of Hydrology ". chapter 1: Introduction, page 1 to 14. McGraw-Hill Book Company (UK) limited. London, England. Second edition. 1975.
21. WILSON, E.M. " Engineering Hydrology ". chapter 1: Introduction, page 1 to 5. The McMillan Press Ltd. London, England. Second edition. 1974.

#### BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.

- A. AMBROGGI, R.P. " Underground Reservoirs to Control de Water Cycle ". Scientific American, vol. 236, No. 5, pp.21-27, May 1977 (924 Scientific American OFFPRINT)
- B. BEARD, L.R. " Hydrologic Data Management ". Volume 2 to The Hydrologic Engineering Methods for Water Resources Development. The Hydrologic Engineering Center. U.S. Army Corps of Engineers. Davis, California, U.S.A. April 1972.
- C. BISWAS, A.K. " History of Hydrology ". American Elsevier Publishing Company. - New York, U.S.A. 1970.
- D. BISWAS, A.K. " Hydrologic Engineering Prior to 600 B.C. ". Proceedings of the - ASCE, Journal of Hydraulics Division, Vol. 93, No. HY5, paper 5431, page 115 to 135. September, 1967.
- E. COSTIN, A.B. y DOOGE, J.C.I. " Compensación de la Acción del Hombre en el Ciclo Hidrológico ". Parte II, páginas 19 a 51 del libro La Influencia del Hombre en el Ciclo Hidrológico, Estudio sobre riego y avenamiento No. especial 17, Grupo de Trabajo Unesco/FAO sobre el DHI. FAO. Roma, Italia. 1974.
- F. DUMITRESCU, S. and NEMEC, J. " Hydrology - A lookback and a look forward ". Introduction, page 16 to 22 in Three Centuries of Scientific Hydrology 1674-1974. Publication of Unesco-WMO/OMM-IAHS/AISH. UNESCO. Paris, France. 1974.
- G. FINKEL, H. " Obstáculos Humanos que se oponen al Control del Ciclo Hidrológico

en Beneficio del Hombre ". Parte III, páginas 55 a 72 del libro La Influencia -- del Hombre en el Ciclo Hidrológico, Estudio sobre riego y avenamiento No. especial 17, Grupo de Trabajo Unesco/FAO sobre el DHI. FAO. Roma, Italia. 1974.

- H. KALININ, G.P. " Global Hydrology ". chapter 1: The Hydrologic Cycle, page 7 to - 46. Translated from Russian for Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem. 1971.
- I. LEVI L.,E. y ECHAVEZ A.,G. " Estudios de Especialización y Grado en Ingeniería - Hidráulica ". serie Orientación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, D.F. 1975 (16 páginas).
- J. NACE, R. " General Evolution of the Concept of the Hydrological Cycle ". page 40 to 51 in Three Centuries of Scientific Hydrology 1674-1974. Publication of the - Unesco-WMO-IAHS. UNESCO. Paris, France. 1974.
- K. NACE, R. " World Water Inventory and Control ". chapter II in the Introduction - to Geographical Hydrology edited by R. J. Chorley, page 8 to 19. Methuen & Co. - Ltd. Great Britain. second reprinted 1977.
- L. PEIXOTO, J.P. and KETTANI, M.A. " The Control of the Water Cycle ". Scientific - American, vol. 228, No. 4, pp.46-61, April 1973 (907 Scientific American OFFPRINTS).
- M. SOKOLOV, A.A. and CHAPMAN, T.G. " Methods for Water Balance Computations ". Studies and reports in hydrology No. 17. The Unesco Press. Paris, France. 1974.
- N. U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. " Requirements and General Procedures ". volume I to the Hydrologic Engineering Methods for Water Resources Development. The Hydrologic Engineering Center. Davis, California, U.S.A. October 1971.