

PROF. LUCAS NOGUEIRA GARCEZ

*Titular de la Cátedra "Hidráulica Urbana y Saneamiento" de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo, Brasil*

## I. GENERALIDADES

La solución de un problema de ingeniería hidráulica está siempre relacionada con una serie de selecciones u opciones entre diversas alternativas materialmente realizables. Como el ingeniero se encuentra casi siempre frente a una serie de alternativas, cada una de las cuales supone opciones parciales, nada mejor que un caso concreto para indicar la complejidad de dichas selecciones. Vamos a referirnos, por lo tanto, al problema del aumento de las posibilidades de energía de la región metropolitana de São Paulo. Los técnicos gubernamentales y de la empresa concesionaria tuvieron que optar entre dos soluciones: central térmica o hidroeléctrica. Con respecto a la central hidroeléctrica, se examinaron diferentes cuencas hidrográficas y, en cada una de las mismas, hubo que estudiar cierto número de emplazamientos de presas; y en relación con cada emplazamiento, nuevas alternativas: ¿qué tipo de estructura para la presa? ¿de qué clase y dimensiones los conductos a presión?; y en cuanto a las turbinas: ¿en qué número? ¿de qué tipo y dimensiones?, y así sucesivamente. Lo mismo podría decirse, *mutatis mutandis*, con respecto a la central térmica.

Otro ejemplo que indica claramente la serie de selecciones entre distintas alternativas materialmente realizables, es el del abastecimiento de agua de una ciudad, en el cual se presentan de ordinario diversas

posibilidades en cuanto a captación, conducción, depósito, tratamiento y distribución del agua.

Por estos dos ejemplos vemos que, en cada fase del análisis, es preciso hacer una selección racional entre las alternativas posibles al objeto de hallar una solución del problema dentro del conjunto de soluciones más favorables.

Es de observar que los factores que entran en juego son heterogéneos: tuberías, estructuras metálicas, kilovatios-hora de electricidad, mano de obra especializada y ordinaria, reducción de los riesgos debidos a inundaciones, etc. De ahí la necesidad de procurarse un denominador común en términos pecuniarios a fin de hacer comparables elementos tan diferentes. Sólo así se posibilita su cotejo y la respuesta a preguntas del tipo siguiente:

- ¿Está la empresa económicamente justificada?
- ¿Es la obra absolutamente necesaria?
- ¿Debe realizarse ahora el mejoramiento?
- ¿Con qué recursos ha de llevarse a cabo?
- ¿Quién lo pagará?
- ¿De qué modo se amortizará el dinero invertido?

Para resaltar la importancia de la selección racional entre las alternativas que todo gran proyecto de ingeniería hidráulica presenta, cabe muy bien aquí la siguiente cita del Informe del Presidente de la Comisión de Recursos Hidráulicos de Estados Unidos de América, 1950, (*A Water Policy for the American People*): "Las grandes estructuras hidráulicas, una vez terminadas, no pueden modificarse sino con dificultades enormes. Hay pocos emplazamientos apropiados para presas y, una vez utilizados, las

\* Lección del curso "Elementos de Ingeniería Hidráulica", Escuela Politécnica, Universidad de São Paulo. Trabajo publicado en portugués en *Revista D.A.E.* (Departamento de Águas e Esgotos de S. Paulo, Secretaria da Viação e Obras Públicas) No. 40, marzo 1961.

posibilidades de una empresa económica de finalidad múltiple son limitadísimas. Puesto en práctica un plan de regadío, ya no puede alterarse por el hecho de que se hayan descubierto factores desfavorables relativos al terreno y clima. La realización de un plan de aprovechamiento de una cuenca supone una responsabilidad grave y conviene tener la seguridad de estar en lo cierto antes de proseguir”.

## II. FASES DE UN ESTUDIO ECONOMICO

A. Cada alternativa que parezca prometedora debe identificarse y definirse claramente en términos materiales.

B. Para cada una de las alternativas definidas en términos materiales debe hacerse un cálculo aproximado del costo, escalonándose las inversiones a realizar y la amortización del capital utilizado (lo cual exige el conocimiento de la vida probable de las estructuras hidráulicas y la elección del período de tiempo durante el cual va a hacerse el estudio económico).

C. Comparación de los cálculos económicos aproximados, hechos mensurables mediante las debidas conversiones basadas en la matemática financiera (anualidades, amortizaciones, tipos de interés, costo anual de mantenimiento y funcionamiento, etc.).

D. Elección de una de las alternativas teniendo en cuenta los aspectos económicos y, a veces, otros factores imponderables que, si bien no reducibles a términos pecuniarios, pueden ser de importancia decisiva.

Un simple ejemplo esclarece debidamente las fases de un análisis económico. Supongamos que los estudios relativos a la construcción de un acueducto hayan posibilitado la identificación de dos alternativas (FASE A):

Alternativa I: Túnel excavado en roca

Alternativa II: Canal revestido, seguido de un caz de chapa metálica.

Se prescinde del valor económico residual de ambas alternativas, y se supone, asimismo, que ambas producen el mismo ingreso.

## FASE B—Cálculo aproximado del costo

### Alternativa I:

Vida probable: 100 años

Costo estimado: 50 millones de cruzeiros (Cr\$)

Costo anual de mantenimiento: 0,6 millones de Cr\$

### Alternativa II:

Vida probable del canal: 100 años

Vida probable del revestimiento del canal: 20 años

Vida probable del caz de chapa de acero: 50 años

Costo aproximado del canal: 18 millones de Cr\$

Costo del revestimiento del canal: 7,5 millones de Cr\$

Costo del caz de chapa de acero: 13,5 millones de Cr\$

Costo anual de mantenimiento de la alternativa II: 1,5 millones de Cr\$

## FASE C—Comparación

Tipo de interés: 12% anual

### Alternativa I:

Anualidad de intereses y amortización (en millones de Cr\$)

$$a = C \frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1}, p^a t = 100, r = 0,12,$$

$$a = 0,120 \times 50,00 \dots \dots \dots 6,00$$

Costo anual de mantenimiento . . . . . 0,60

Costo anual total (en millones de Cr\$) . 6,60

### Alternativa II:

Anualidades de intereses y amortización:

Canal ( $t = 100, r = 0,12$ )

$$a_1 = 0,120 \times 18,00 = 2,16$$

Revestimiento del canal ( $t = 20, r = 0,12$ )

$$a_2 = 0,1229 \times 7,50 = 1,00$$

Caz de chapa metálica ( $t = 50, r = 0,12$ )

$$a_3 = 0,1209 \times 13,50 = 1,63$$

Costo anual de mantenimiento . . . . . 1,50

Costo total anual (en millones de Cr\$) 6,29

En los países donde hay escasez de capital, como Brasil, es también muy

CUADRO No. 1.—Tabla de valores de las anualidades de intereses y amortización pagaderas al fin de cada año, correspondientes a un empréstito de 1 Cr\$.

Tiempo en años	Tipo de interés									
	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%
5	0,23740	0,24389	0,25046	0,25709	0,26384	0,27058	0,27740	0,28384	0,29081	0,29680
10	0,13587	0,14238	0,14903	0,15582	0,16275	0,16981	0,17698	0,18429	0,19168	0,19924
15	0,10296	0,10979	0,11683	0,12406	0,13147	0,13904	0,14682	0,15473	0,16229	0,17101
20	0,08718	0,09439	0,10185	0,10955	0,11746	0,12558	0,13388	0,14235	0,15098	0,15975
30	0,07265	0,08059	0,08883	0,09734	0,10608	0,11503	0,12415	0,13341	0,14280	0,15230
40	0,06646	0,07501	0,08386	0,09296	0,10226	0,11172	0,12130	0,13098	0,14080	0,15056
50	0,06344	0,07246	0,08174	0,09122	0,10087	0,11060	0,12092	0,13052	0,14020	0,15013
60	0,06187	0,07123	0,08079	0,09051	0,10032	0,11021	0,12013	0,13008	0,14005	0,15003
70	0,06103	0,07061	0,08037	0,09022	0,10013	0,11007	0,12004	0,13003	0,14001	0,15001
80	0,06057	0,07031	0,08017	0,09009	0,10005	0,11003	0,12002	0,13002	0,14001	0,15001
90	0,06032	0,07015	0,08008	0,09004	0,10003	0,11002	0,12001	0,13001	0,14000	0,15000
100	0,06018	0,07008	0,08004	0,09002	0,10001	0,11000	0,12000	0,13000	0,14000	0,15000

	16%	17%	18%	19%	20%	21%	22%	23%	24%
5	0,29831	0,31258	0,31970	0,32698	0,33440	0,34171	0,34923	0,35669	0,36418
10	0,20688	0,21465	0,22250	0,23046	0,23852	0,24669	0,25489	0,26319	0,27159
15	0,17935	0,18781	0,19640	0,20510	0,21388	0,22270	0,23174	0,24079	0,24991
20	0,16866	0,17769	0,18681	0,19604	0,20535	0,21475	0,22420	0,23372	0,24329
30	0,16188	0,17150	0,18126	0,19103	0,20084	0,21069	0,22056	0,23046	0,24037
40	0,16042	0,17031	0,18024	0,19018	0,20013	0,21010	0,22007	0,23005	0,24004
50	0,16009	0,17006	0,18004	0,19003	0,20002	0,21001	0,22001	0,23000	0,24000
60	0,16002	0,17001	0,18000	0,19000	0,20000	0,21000	0,22000	0,23000	0,24000
70	0,16000	0,17000	0,18000	0,19000	0,20000	0,21000	0,22000	0,23000	0,24000
80	0,16000	0,17000	0,18000	0,19000	0,20000	0,21000	0,22000	0,23000	0,24000
90	0,16000	0,17000	0,18000	0,19000	0,20000	0,21000	0,22000	0,23000	0,24000
100	0,16000	0,17000	0,18000	0,19000	0,20000	0,21000	0,22000	0,23000	0,24000

interesante la comparación teniendo en cuenta la inversión inicial.

En este caso:

Alternativa II:

18,0 + 7,5 + 13,5...39 millones de Cr\$

Alternativa I:.....50 millones de Cr\$

FASE D—Selección

De no haber factores imponderables de importancia decisiva, la selección ha de recaer en la alternativa II, que ofrece la doble ventaja de requerir menor inversión inicial y de representar un costo total anual más reducido.

Para facilitar el estudio económico de las estructuras hidráulicas, se acompaña una tabla de valores de las anualidades de intereses y amortizaciones pagaderas al fin

de cada año, correspondientes al empréstito de 1 Cr\$, calculados por la fórmula:

$$a = C \frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1}$$

en la cual: a = anualidad, C = cuantía del empréstito, r = tipo de interés, t = tiempo en años.

La tabla ofrece valores de a para los tipos de interés de 6% a 24%, y para períodos de tiempo de 5 a 100 años.

El cuadro No. 1 permite observar la enorme importancia de los tipos de interés en un estudio económico. En países bien desarrollados, y en períodos no inflacionarios, se puede también hacer, caso por caso, una selección de tipos de interés adecuada a las particularidades del problema.

Sin embargo, esa no es la actual coyuntura brasileña, donde el tipo de interés se fija en función de circunstancias ajenas al análisis económico propiamente dicho.

### III. VIDA PROBABLE DE LAS ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

El análisis que acaba de hacerse, a título de ejemplo, resalta la influencia de la vida probable de las estructuras hidráulicas en un estudio económico. En los países desarrollados, estudios minuciosos permiten al proyectista tener una idea precisa de la vida probable de millares de bienes muebles e inmuebles, como lo muestra el cuadro No. 2.

Otra práctica difundida en Estados Unidos es la de adoptar, en los estudios preliminares para el aprovechamiento múltiple de una cuenca, como vida media probable del conjunto de las estructuras hidráulicas, un período de 50 años.

Debe observarse que, en una comparación de costo anual, una diferencia grande en la vida media probable ejerce, por regla general, una influencia mucho menor que la debida a una diferencia módica en los tipos de interés.

### IV. RELACION ENTRE LA PROBABLE FRECUENCIA DE ACONTECIMIENTOS EXTREMOS Y EL PROYECTO ECONOMICO DE CIERTAS ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

Muchos problemas de ingeniería hidráulica los plantean ciertos acontecimientos extremos, como, por ejemplo, las inundaciones periódicas de una corriente de agua. En el momento en que se elabora el proyecto, los períodos y valores de los acontecimientos extremos sólo pueden verse en términos de probabilidades. Nunca está de más insistir en que uno de los principales objetivos de los estudios hidrológicos es exactamente el de pronosticar la intensidad y frecuencia de dichos valores extremos.

Algunos ejemplos ilustrarán mejor lo que decimos:

CUADRO No. 2.—*Vida probable de las estructuras hidráulicas en un estudio económico.\**

Estructura	Vida probable (años)
1) Depósito de sedimentación .....	50
2) Presas .....	
a) de tierra, de cemento, de albañilería .....	150
b) de piedra suelta .....	60
c) con estructuras metálicas .....	40
3) Bombas .....	de 15 a 25
4) Caces .....	
a) de cemento .....	75
b) de chapa de acero .....	50
c) de madera .....	25
5) Canales .....	75
6) Conductos a presión en instalaciones hidroeléctricas .....	50
7) Líneas de tuberías .....	
a) de hierro fundido .....	de 50 a 75
b) de cemento .....	de 20 a 30
c) de chapa de acero .....	de 30 a 50
8) Filtros (const. civil) .....	50
9) Generadores .....	de 15 a 25
10) Bocas de riego .....	50
11) Pozos .....	de 40 a 50
12) Embalse .....	75
13) Túneles .....	100
14) Turbinas .....	35

\* Se adapta de una publicación del Departamento de Impuestos sobre la Renta del Gobierno de Estados Unidos de América (Boletín F. 1942 del U. S. Internal Revenue Department).

a) *Galerías de aguas pluviales*: Cuanto mayor sea la capacidad de los conductos, mayor será la inversión inicial y, por consiguiente, más elevado el costo anual de amortización e intereses. Por otra parte, cuanto mayor sea la capacidad de los conductos, menor será la frecuencia probable de desbordes y menores los daños causados a los propietarios de fincas urbanas.

Claro es que el objetivo económico es reducir al mínimo la suma del costo anual total del sistema (anualidades + costo de mantenimiento + costos de funcionamiento, etc.) y del costo medio anual de los daños ocasionados por los desbordes.

Cuanto más graves sean las consecuencias de los desbordes, más justificables serán las

CUADRO No. 3.—Costo de cada alternativa y los elementos que intervienen en su análisis económico.

Alternativa	Inversión	Daños medios anuales debidos a inundaciones	Anualidades	Gastos anuales de funcionamiento y mantenimiento	Costo anual total
1) Ninguna obra de control de inundaciones .....	0	110,0	0	0	110,0
2) Mejoras del lecho del río .....	250,0	37,5	33,5	15,0	86,0
3) Presa y embalse en el punto A....	450,0	28,5	54,0	9,0	91,5
4) Presa y embalse en el punto B ..	600,0	20,0	72,0	12,0	104,0
5) Presa en el punto A, más mejoras del lecho del río .....	525,0	15,0	64,0	24,0	103,0
6) Presa en el punto B, más mejoras del lecho del río.....	675,0	9,0	82,0	27,0	118,0

inversiones tendientes a reducir la frecuencia de éstos.

Por ejemplo, con respecto a un barrio residencial, el análisis económico puede conducir a una medida que permita, por término medio, un desborde cada tres años; actualmente, en un distrito comercial o industrial, puede resultar económico tener galerías con capacidad suficiente para limitar los desbordes a una frecuencia media probable de una vez cada veinte años.

b) *Aliviaderos de presas*: Suelen calcularse para hacer frente a acontecimientos extremos cuya frecuencia exceda de la propia vida probable de la estructura.

En ese caso, el monto de los daños ocasionados por los acontecimientos extremos no puede incorporarse a los daños medios anuales durante la vida de la estructura, sino al *costo anual del riesgo de daños*, el cual es el producto del coeficiente de probabilidad de que el acontecimiento ocurra en un año determinado, por el costo previsto de los daños, si el acontecimiento efectivamente ocurriese.

V. CONTRASTE ENTRE LOS ESTUDIOS ECONOMICOS HECHOS POR EMPRESAS PRIVADAS Y POR OBRAS PUBLICAS

En las empresas privadas, el estudio económico se orienta de ordinario a producir óptimos “ingresos en caja”; en las obras públicas es necesaria una evaluación oficial de los beneficios públicos que producen.

CUADRO No. 4.—Análisis de la razón “beneficio/costo”.

Alternativa	Beneficios anuales	Costos anuales	Razón “beneficio/costo”
I	—	—	—
II	72,5	48,5	1,49
III	81,5	63,0	1,29
IV	90,0	84,0	1,07
V	95,0	88,0	1,08
VI	101,0	109,0	0,93

No siempre dicha evaluación es fácil, ya que surgen factores imponderables sujetos a discusiones vehementes que hacen el análisis en extremo complejo.

A título informativo, la legislación específica norteamericana (*Flood Control Act*, de 1936) determina la participación del poder público “si los beneficios que puedan acumularse, en quienquiera que sea, exceden de los costos estimados, y si las vidas y seguridad social de las gentes quedan afectadas adversamente de algún otro modo”.

VI. EJEMPLO DE ANALISIS ECONOMICO DE LOS BENEFICIOS Y COSTOS DE UNA OBRA PUBLICA

En una cuenca hidrográfica determinada, el promedio de daños anuales ocasionados por inundaciones se evalúa en 110 millones de cruzeiros. Se hicieron cálculos aproximados del costo de varias alternativas de obras de protección contra inundaciones. Hay dos emplazamientos posibles para la construcción de la presa y embalse de reserva:

puntos A y B. Como la presa del punto A cae dentro de la zona del embalse B, una de las dos obras puede construirse, pero no ambas a la vez. Cada presa, con su respectivo embalse, puede construirse por separado o en combinación con mejoramientos del río. También es posible realizar sólo éstos.

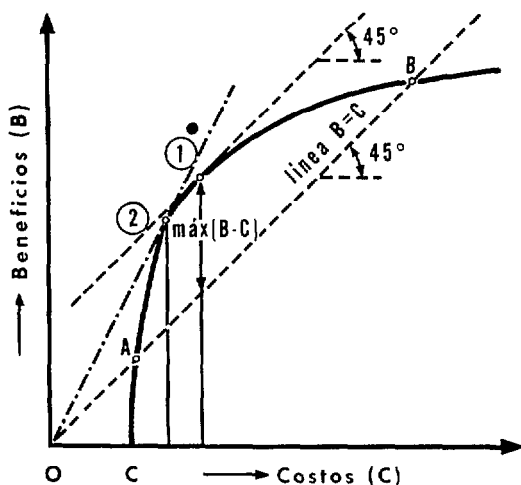
Vida media probable de las mejoras del río.....	20 años
Vida media probable de la presa y el embalse.....	100 años
Tipo de interés.....	12%

El cuadro No. 3 indica el costo de cada alternativa y los elementos que intervienen en el análisis económico. Las cifras expresan millones de cruzeiros. También indica que el total mínimo corresponde a la alternativa II: mejoramientos del lecho del río. Otro modo frecuente de analizar estos planes de ejecución de obras públicas se basa en la razón llamada "beneficio/costo". En el caso que nos ocupa, los beneficios estarían representados por las reducciones anuales previstas de los daños debidos a inundaciones, y los costos coincidirían con los gravámenes anuales correspondientes a las anualidades más los gastos anuales de funcionamiento y mantenimiento.

En el cuadro No. 4 se analiza la razón "beneficio/costo".

No siempre la razón beneficio/costo ofrece indicaciones suficientes para optar, desde el punto de vista económico, por una de las diversas alternativas. Con frecuencia, se computan los beneficios suplementarios ocasionados por cada uno de los aumentos de los costos, y se determinan las razones de los aumentos de los beneficios a los incrementos de los costos. Esto equivale a decir que los costos complementarios sólo se justifican cuando son menores que los correspondientes beneficios suplementarios. El cuadro No. 5 ofrece un resumen de esta investigación suplementaria. Este cuadro da aún mayor realce a las ventajas económicas de la alternativa II. Finalmente, la Fig. 1 sintetiza las observaciones que acaban de hacerse.

FIG. 1



Los puntos notables de la figura son:

- punto 1: punto de tangencia de una paralela a la recta B C; éste es el punto en el cual el valor (B C) alcanza su máximo;
- punto 2: punto de tangencia con la curva de una recta que pasa por el origen; éste es el punto donde la razón  $\frac{B}{C}$  es máxima.

La abscisa en el origen OC indica que, por debajo de un cierto costo mínimo, no hay beneficios.

A lo largo de la curva CAB, el segmento AB representa el intervalo donde los beneficios exceden a los costos.

El segmento de curva limitado por los puntos 1) y 2) corresponde a los mejores rendimientos económicos.

CUADRO No. 5.—Cómputo de los beneficios suplementarios ocasionados por cada uno de los aumentos de los costos, y determinación de las razones de los aumentos de los beneficios a los incrementos de los costos en el caso de cada alternativa.

Alternativa	Beneficios anuales	Diferencia de beneficios	Costos anuales	Diferencia de costos	Razón "diferencia de beneficios/diferencia de costos"
II	72,5	—	48,5	—	—
III	81,5	9,0	63,0	15,5	0,58
IV	90,0	8,5	84,0	21,0	0,41
V	95,0	5,0	88,0	4,0	1,25
VI	101,0	6,0	109,0	21,0	0,29

CUADRO No. 6.—Elementos relativos a un plan de aprovechamiento de recursos hidráulicos con fines múltiples.\*

No.	Naturaleza de la obra	Finalidad	Tipos de obras y magnitud de éstas
1	Control de inundaciones	Prevención o reducción de los daños debidos a inundaciones, protección del desarrollo económico; reservas, regulación del caudal, recarga de la capa subterránea, abastecimiento de agua, producción de energía, protección de vidas	Presas, depósitos de reserva, construcción de diques, mejora de cauces, conductos, estaciones de bombas, demarcación de zonas en las regiones sujetas a crecidas, previsión de inundaciones
2	Regadío	Producción agrícola	Presas, depósitos, pozos, canales, bombas y estaciones elevadoras, control de hierbas dañinas, obras para eliminar la sal, sistemas de distribución, desagües, escalonamiento en terrazas
3	Aprovechamiento hidroeléctrico	Provisión de energía para el desarrollo económico, elevación del nivel de vida	Presas, depósitos, conductos a presión, centrales de energía, líneas de transmisión
4	Navegación	Transporte de pasajeros y mercancías	Presas, depósitos, canales, atracaderos, mejoramiento de canales abiertos, obras portuarias
5	Suministro de agua para fines domésticos o industriales	Abastecimiento de agua para uso doméstico, industrial, comercial y municipal	Presas, depósitos, pozos, conductos, estaciones de bombas, estaciones depuradoras, sistemas de distribución
6	Conservación del terreno	Conservación y mejora del terreno, lucha contra la erosión, desarrollo y mejoramiento de bosques y pastos, protección de las fuentes de abastecimiento de agua	Prácticas de conservación, métodos agrícolas racionales, control de torrentes, represas
7	Uso del agua con fines recreativos	Mejoramiento del bienestar y de la salud de las gentes	Embalses, oportunidades de uso recreativo, obras de control de la contaminación, protección de regiones de valor estético
8	Conservación de la fauna acuática	Mejoras del habitat de peces y otros animales acuáticos; disminución o prevención de la pérdida de peces ocasionada por obras hidráulicas, provisión de lo necesario para la expansión de la industria pesquera y el deporte de la pesca	Refugios de animales acuáticos y peces, rampas para peces, rejillas, reservas, regulación de caudales, repoblación piscícola de corrientes y embalses, control de la contaminación, conservación del terreno
9	Control de la contaminación	Protección o mejoramiento de los abastecimientos de agua destinados a uso doméstico, industrial y agrícola; protección de la fauna acuática y mejora de las condiciones recreativas	Estaciones de depuración, depósitos reguladores de caudal, sistemas de alcantarillado, medidas legales de control

CUADRO No. 6.—*Cont.*

No.	Naturaleza de la obra	Finalidad	Tipos de obras y magnitud de éstas
10	Control de insectos	Salud pública, protección de las condiciones recreativas, protección de bosques y cosechas	Proyecto y funcionamiento apropiados de embalses y obras afines, desagües y medidas exterminadoras
11	Desagüe	Producción agrícola, desarrollo urbano, protección de salud pública	Zanjas, líneas de desagüe, diques, estaciones de bombas, tratamiento del terreno
12	Control de sedimentos	Reducción de la carga de sedimentos de las corrientes; protección de los embalses	Conservación del terreno, prácticas de repoblación forestal, construcción de carreteras y ferrocarriles adecuados, separación de la arena, obras de revestimiento y mejora de canales
13	Control de la salinidad	Control de la contaminación de tierras labrantías por agua salada, así como de los abastecimientos de agua para uso industrial y municipal	Embalses de regulación de caudal, muros de contención, recarga de la capa subterránea, obras de hidráulica marítima

\* Plan adaptado de un anexo del Informe del Presidente de la Comisión de Normas de Recursos Hidráulicos, de Estados Unidos de América, correspondiente a 1950.

#### VII. ANALISIS ECONOMICO DEL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS PARA FINES MULTIPLES

Uno de los campos más adecuados para aplicar el examen económico recién indicado es el del aprovechamiento de recursos hidráulicos para fines múltiples. En los treinta años últimos ha aumentado considerablemente la tendencia a la planificación total de los recursos de una cuenca al objeto de atender las finalidades más diversas. Como el mantenimiento y utilización de los recursos hidráulicos están en íntima relación con la conservación y utilización de todos los recursos naturales de una región, y dado que el aprovechamiento de los recursos hidráulicos posibilita un avance firme en el desarrollo económico, el problema se encuadra, por regla general, en un planeamiento regional que se refleje sobre la propia economía nacional. Principalmente en los países subdesarrollados o en período de rápido desarrollo, como el Brasil,

el aprovechamiento de los recursos hidráulicos con fines múltiples, además de importante, es de extrema urgencia, pues, así como algunos recursos básicos, por ejemplo, los minerales, pueden conservarse en sus yacimientos naturales, constituyendo una riqueza virtual para las generaciones futuras, las aguas corrientes no utilizadas se pierden como fuente de riqueza.

Las cuencas hidrográficas constituyen las subdivisiones naturales de los recursos hidráulicos; sin embargo, no siempre se encuentran totalmente dentro de un Estado o país y, por desgracia, obstáculos políticos, constitucionales y legales pueden impedir su racional aprovechamiento.

Lo ideal, y lo que debería constituir un verdadero lema de la ingeniería sanitaria, es que se pudiese contar con "un plan para cada cuenca", de forma que los recursos de un río, no sólo pudieran verse en conjunto, sino también aprovechados "dentro de la misma unidad con que la naturaleza



distribuye sus riquezas, sus aguas, las tierras y las selvas, reunidas en una estructura total", según la feliz expresión del historiador norteamericano Maitland.

Para indicar la importancia decisiva del estudio económico de los recursos hidráulicos con fines múltiples, nada mejor que recordar, una vez más, la experiencia norteamericana y citar algunos principios fundamentales formulados por la *United States President's Water Resources Policy Commission*, en 1950.

1. Fines regionales y nacionales, claramente definidos, que comprendan los planes de aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

2. Planificación de una cuenca hidrográfica como un todo y no como un mosaico de planes elaborados por departamentos distintos, con finalidades independientes.

3. Métodos sencillos para determinar si el dinero que se invierte en el programa de una cuenca hidráulica será una buena inversión.

4. Sistema de tarifas, impuestos y retribuciones que traten equitativamente a todos los que reciben beneficios derivados de la inversión que se va a realizar.

5. Inclusión del programa financiero de las empresas de aprovechamiento hidráulico en el programa o plan de la cuenca. Determinación del esquema anual de inversión como factor eficaz de estabilidad económica.

6. Debida competencia profesional por parte de los planificadores, y datos susceptibles de servir de base segura a planes de garantía.

7. Aplicación de sólidos principios de conservación del terreno y conocimiento detallado de la hidrología de las aguas subterráneas, en su relación con las aguas corrientes.

8. Utilización racional de los recursos hidráulicos teniendo en cuenta sobre todo el desarrollo económico.

El simple enunciado de estos principios indica de sobra el predominio de los aspectos económicos y sociales de los aprovechamientos con fines múltiples.

Los planes más grandiosos de aprovechamiento de recursos hidráulicos con fines múltiples son los de la TVA (Tennessee Valley Authority) norteamericana y el de

fertilización de las estepas de la Rusia Meridional europea.

La TVA fue creada por el Presidente Roosevelt en 1933, con el objeto de aprovechar, con fines múltiples, el copioso caudal del río Tennessee, alimentado por la elevada precipitación pluvial de los Alleghanys. El Tennessee se une al Ohio y éste al Mississippi. La cuenca comprendida en el plan tiene una superficie igual a la del Estado de São Paulo y una población de unos ocho millones de habitantes.

El plan soviético de fertilización de las estepas del sur de la Rusia europea comprende una extensión casi cuatro veces mayor que la del Estado de São Paulo, y tiende a alcanzar, entre otros, los objetivos siguientes:

a) Aprovechamiento hidráulico propiamente dicho, mediante la construcción de 44.000 depósitos de reserva;

b) Repoblación forestal de casi 6 millones de hectáreas;

c) Creación de pastos en una superficie aproximada de 14 millones de hectáreas.

Dada la importancia de la materia, a pesar del carácter resumido del curso de "Introducción a la ingeniería hidráulica", nos permitimos indicar en el cuadro No. 6 los elementos relativos a un plan de aprovechamiento de recursos hidráulicos con fines múltiples.

El análisis económico del aprovechamiento de recursos hidráulicos con fines múltiples se hace, generalmente, por medio de la razón beneficio/costo, y sirve de elemento explicativo el ejemplo ofrecido en la parte VI de este artículo.

Indudablemente, en un plan de aprovechamiento con fines múltiples, el examen económico es más bien complejo, pues intervienen en el mismo factores presupuestarios, la distribución de los costos entre las diversas partes componentes del sistema, y el régimen de impuestos y tarifas. Una técnica especial fue establecida para este análisis, principalmente en Estados Unidos.

Dado el carácter del presente artículo, tales pormenores se apartan de nuestro objetivo. A los lectores interesados les recomendamos el excelente trabajo: "Pro-

posed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects"—*Federal Interagency River Basin Committee, Subcommittee on Benefits and Costs*, Washington, 1950.

#### BIBLIOGRAFIA

Eckstein, Otto: *Water Resource Development*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1958.

Federal Interagency River Basin Committee, Subcommittee on Benefits and Costs: *Proposed Practices for Economic Analysis of River Basin Projects*, Washington, D. C., 1950.

Lilienthal, David E.: *TVA—A Democracia em Marcha*—Traducción al portugués de Octavio Alves Velho. Editora Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 1956.

Linsley y Franzini: *Elements of Hydraulic Engineering*, McGraw Hill Book Company, Nueva York, 1955.

Naciones Unidas: Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente: Multiple Purpose River Basic Development. Parte 1—*Manual of River Basin Planning*, Nueva York, 1955.

Report of the President's Water Resources Policy Commission, 1950: *A Water Policy for the American People*, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C.