NACIONES UNIDAS

C. 1

CONSEJO ECONOMICO Y SOCIAL

GENERAL

E/CN.12/861

11 de septiembre de 1970

ORIGINAL: ESPAÑOL

COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA. 14º Período de Sesiones. Guatemala, abril, 1971

LA OBTENCION Y EL USO DE LA INFORMACION SOBRE LOS RECURSOS HIDRAULICOS EN AMERICA LATINA

INDICE

/1. Consideraciones

1. Consideraciones generales

Antes de examinar la oportunidad y modalidades de obtención en América Latina de las informaciones necesarias sobre los recursos hidráulicos para posibilitar o dinamizar mediante su empleo el desarrollo económico y social, conviene recordar brevemente algunas de sus propias características y la naturaleza de los datos que necesitan los técnicos para proyectar las obras de aprovechamiento de ellos.

El agua es un recurso insustituible para la vida del hombre e indispensable para la gran mayoría de las actividades económicas (agricultura, ganadería, industrias, etc.,). Con la población mundial duplicándose cada cuarenta años, aproximadamente, constituye uno de los bienes más importantes de la tierra. A la inversa, grandes caudales de agua, no controlados, causan con bastante frecuencia destrucción y muerte.

Aparte la desigual distribución geográfica de este recurso, que en América Latina es singularmente acentuada, su disponibilidad, renovada a través del ciclo hidrológico, es muy variable, tanto en la secuencia estacional de cada año, cuanto en la de un año para otro. Los fenómenos hidrometeorológicos [1/] tienen en general un carácter errático de modo que sólo pueden ser registrados en términos estadísticos y analizados por ahora según las teorías de probabilidades.

Si se considera, por una parte, que cuanto mejor se conoce la historia de un río, con mayor certidumbre puede predecirse su futuro comportamiento, y que, por la otra, el diseño de las obras de aprovechamiento del agua se orienta a la utilización de los caudales futuros, puede afirmarse, en términos generales, que cuanto mayor sea la información acumulada sobre el pasado de un río, tanto más racionales podrán ser los proyectos y la operación de los sistemas destinados a aprovecharlo.

Además, la amplitud y ritmo de la investigación del recurso están íntimamente vinculados a las demandas futuras de los distintos usos, las que corresponde actualizar periódicamente.

1/ En estas notas se considera que hidrometeorología es la ciencia que estudia las fases atmosféricas y terrestres del ciclo hidrológico.

/Mientras que

Mientras que la investigación y el conocimiento de otros recursos naturales pueden realizarse rápidamente concentrando en un lugar y momento dados los medios técnicos necesarios (humanos y materiales), los hidráulicos, por la razón antes señalada, requieren de varios años de observación y registro.

Aunque para el ingeniero proyectista de obras que implican suministro de agua (riego, hidroelectricidad, abastecimiento de poblaciones o industrias, etc.,), interesan los volúmenes de escurrimiento durante largos períodos de tiempo, los valores extremos de los caudales revisten también gran trascendencia. Los máximos y la frecuencia con que ocurren condicionan la magnitud de los elementos de seguridad para la evacuación de caudales excedentes (vertederos, sifones, compuertas y rápidos de descarga); de los dispositivos pertinentes para perder energía, de las ataguías y dispositivos de desviación de cursos de agua durante la construcción de obras hidráulicas; de los proyectos de control de crecidas, etc. Los mínimos y su recurrencia configuran en cierto modo la magnitud de los daños y las frecuencias que los períodos de sequía traen consigo, así como la disponibilidad segura en aprovechamientos sin obras de regulación.

A veces, períodos de observación relativamente cortos de un curso de agua dan una idea bastante aproximada de un parámetro del caudal, tal como el medio aritmético, la mediana, o la desviación estándar, pero no dan una imagen adecuada de las probabilidades y magnitudes de sus valores extremos (crecidas y sequías).

Por otra parte, el riesgo que se esté dispuesto a correr por el conocimiento insuficiente de las características de un río varía grandemente de un caso a otro. Por ejemplo, quien proyecte el embalse de un río localizado aguas arriba de una ciudad, tendrá que ser mucho más exigente en conocer las características de las grandes crecidas y su recurrencia, por el peligro que ellas suponen para las obras y una eventual catástrofe que afecte a la población, que quien diseñe un puente para cruzar con un camino secundario el mismo río, sabiendo que un error en la estimación de las crecidas tendría en este caso consecuencias de reducida importancia.

Afortunadamente, los fenómenos hidrometeorológicos tienen en cierto grado características de "función continua" con respecto al espacio y al

/tiempo. Por

tiempo. Por ejemplo, las variables pueden mostrar relaciones de causa a efecto en un lugar, como es el caso del vínculo precipitación-escurrimiento en una cuenca; o solamente relacionar los efectos en lugares vecinos, como son la correlación entre las precipitaciones de dos estaciones pluviométricas o los escurrimientos de dos cuencas adyacentes. Así los análisis de regresión y correlación son una herramienta estadística de gran efectividad en los estudios hidrometeorológicos, especialmente para "extender" o "ampliar" series cortas de mediciones históricas.

El agua además de ser adecuada en volumen a las necesidades, debe cumplir ciertas exigencias de calidad. Problemas relacionados con este aspecto se plantean para el abastecimiento doméstico, para el riego y abrevado, para numerosas necesidades industriales, en la eliminación de aguas servidas, en la recreación, etc.

Aunque en general sea acertado como dice el señor Orris C. Herfindahl,[2/] que ningún tipo de recurso natural es esencial a un alto nivel de ingreso nacional siempre que se tenga acceso a él por el comercio, en la práctica la ausencia de fuentes de agua constituye un serio obstáculo al desarrollo económico y social de la zona o región afectada. En efecto, como su "consumo" es muy voluminoso en todas las actividades, su transporte y comercialización masivos llegan a plantear limitaciones no desde un punto de vista técnico, sino económico.

Cabe subrayar que el conocimiento de las características hidrometeorológicas con relación al desarrollo resulta obligado, sea por la escasez del agua (zonas áridas y semiáridas) a fin de administrarla rigurosamente (Israel, Norte de Chile, California) o por su abundancia, con el objeto de aprovecharla masivamente en distintos usos - hidroelectricidad, industrias, navegación - (Canadá, Estados Unidos, Noruega, Brasil, Francia, etc.), o para controlar efectos desfavorables (Países Bajos, Litoral de Argentina, Valle del Tennessee, Llanos del Norte y Oriente de Bolivia, etc.).

Las consideraciones anteriores podrían dar la idea de que es conveniente una amplia investigación hidrometeorológica para levantar un inventario exhaustivo. Nada más lejos de la realidad, tanto porque se tiene

---

2/ Natural Resources Information for Economic Development, pág. 4

/clara conciencia

clara conciencia del costo que implica la obtención de las informaciones correspondientes, cuanto porque no se considera indispensable la ejecución de inventarios completos de las fuentes de agua y de extensísimas mediciones de sus características, para decidir con acierto la ejecución de programas de aprovechamiento en consonancia con las necesidades que impone el desarrollo económico y social.

2. La medición de los recursos de agua en la región

Las primeras mediciones del agua en América Latina comenzaron con las de precipitaciones a principios del siglo XIX y sólo al iniciarse el XX, empezaron las de ríos, observándose primero alturas y posteriormente caudales. Los registros continuos más largos que existen actualmente superan ligeramente los 100 años pero solamente los hay para unos pocos lugares. Estos son de lluvia medida una vez al día.

Los servicios meteorológicos nacionales comenzaron a crearse en la segunda mitad del siglo XIX o comienzos del XX y lamentablemente todavía queda un país que no ha creado un organismo especializado. Estas demoras de organización meteorológica centralizada obligaron a otros organismos estatales que usaban el recurso, y a la acción privada a instalar y administrar numerosas estaciones de tipo pluviométrico o termopluviométrico (y aún más completas) en explotaciones agrícolas, en aeródromos, en altas cuencas para aprovechamientos hidroeléctricos, etc.

En las mediciones hidrológicas, los registros continuos más largos son los de niveles de agua observados una vez al día que en unos pocos casos superan los 60 años. En general las mediciones hidrológicas estuvieron a cargo de organismos estatales o privados, dedicados a usos específicos del agua.

El desarrollo de las observaciones no ha seguido una evolución uniforme, ha sido irregular y en algunos momentos hasta ha retrocedido. Su ampliación y mejoramiento se ha efectuado en general en forma intuitiva o práctica, sea instalando estaciones de medición al prever el uso futuro del recurso o tratando de cubrir zonas desprovistas de observaciones, pero en general sin seguir normas técnicas que por otra parte no existían hasta hace algunos años.

Con el fin de tener una primera imagen del estado actual de las observaciones en América Latina, se presenta por países, en el cuadro 1, el número de algunos instrumentos en operación y sus densidades por 1 000 km^2, relativos a hidrometeorología, reconociendo que éstos son sólo índices muy generales y de significación limitada.

/Cuadro 1

Cuadro 1

AMERICA LATINA: NUMERO DE PLUVIOMETROS, FLUVIOMETROS Y EVAPORIMETROS EN SERVICIO a/

	País	Año	Superficie miles km2	Densidad de población hab/km2	Pluviómetros Número	Pluviómetros Densidad pluv/ 1 000 km2	Pluviógrafos	Fluviómetros Número	Fluviómetros Densidad fluv/ 1 000 km2	Limnígrafos	Aforos	Evaporímetros
1.	Argentina	1969	2 780	8.0	3 785	1.36	180	702	0.25	119	319	115
2.	Bolivia	1968	1 098	3.4	282	0.26	3	63	0.06	...	76	6
3.	Brasil	1965	8 514	9.6	5 500	0.65	120	1 400	0.16	...	800	70
4.	Colombia	1969	1 138	15.6	1 110	0.98	159	341	0.30	78	228	24
5.	Costa Rica	1969	51	28.0	173	3.39	96	35	0.69	31	187	7
6.	Cuba	1964	115	66.0	2 872	24.97	57	59	0.51	...	59	18
7.	Chile	1969	742	11.5	854	1.15	107	450	0.61	280	380	93
8.	Ecuador	1969	284	17.9	345	1.21	28	134	0.47	88	47	16
9.	El Salvador	1969	21	139.0	143	6.81	19	38	1.81	38	35	8
10.	Guatemala	1966	109	41.0	451	4.14	2	59	0.54	36	36	7
11.	Guyana Francesa	1965	91	0.4	39	0.43	6	20	0.22	2	...	13
12.	Guyana	1968	215	2.9	154	0.72	36	59	0.27	31	30	13
13.	Haití	1965	28	166.0	60	2.14	...	11	0.39	11	...	2
14.	Honduras	1966	112	20.0	164	1.46	...	73	0.65	2	51	11
15.	Jamaica	1965	11	112.0	395	35.90	...	65	5.9	...	...	...
16.	México	1969	1 973	21.0	3 200	1.62	241 b/	1 200	0.61	636 b/	1 078 b/	96
17.	Nicaragua	1966	140	11.8	72	0.51	...	12	0.86	11	12	15
18.	Panamá	1966	76	16.4	157	2.06	23	63	0.78	20	63	6
19.	Paraguay	1965	407	5.0	86	0.22	7	14	0.03	0	3	16
20.	Perú	1965	1 285	8.6	993	0.77	65	216	0.17	...	197	50
21.	República Dominicana	1965	49	74.0	300	6.12	...	...	...	...	...	...
22.	Surinam	c/	143	2.3	127	0.89	...	...	...	...	...	...
23.	Trinidad-Tabago	1965	5	190.0	153	30.62	43	...	...	...	...	...
24.	Uruguay	1969	187	14.5	564	3.02	25 b/	119	0.64	1 b/	46 b/	19
25.	Venezuela	1963	912	9.6	1 100	1.21	400	450	0.49	150	203	150
26.	Honduras Británica	c/	23	4.6	31	1.35	5	...	...	...	...	...

Fuente: CEPAL.

a/ En algunos países el número puede incluir estaciones que en la actualidad no operan pero que permitieron obtener registros útiles.

b/ 1965.

c/ Información posterior a 1960.

/Con el

Con el objeto de hacer comparaciones, se incluye también el cuadro 2 con las densidades mínimas de pluviómetros y fluviómetros recomendadas por la Organización Meteorológica Mundial, en cuya formulación fueron tomadas en cuenta las experiencias de carácter técnico y económico de diversos países del mundo.

Cuadro 2

DENSIDAD MINIMA DE PLUVIOMETROS E HIDROMETROS RECOMENDADOS POR LA OMM

(1 estación por 1 000 km^2)

Tipo de región	Pluviómetros		Fluviómetros	
	Densidad de población y accesos normales	Densidad a/ de población baja y accesos difíciles	Densidad de población y accesos normales	Densidad a/ de población baja y accesos difíciles
I. Regiones llanas b/	1.1 a 1.7	0.33 a 1.1	0.4 a 1	0.1 a 0.3
II. Regiones montañosas c/				
a) Regiones vastas con hidrografía poco densa	4 a 10	1 a 4	1 a 3.5	0.2 a 1
b) Regiones reducidas con precipitaciones irregulares y muy densa hidrografía	40	-	3.3 a 7	-
III. Regiones áridas d/ y polares	0.1 a 0.7	-	0.05 a 0.2	-

Fuente: "Guía para prácticas hidrometeorológicas". OMM, pág. III-8 y III-13. Edición inglesa.

a/ Las cifras correspondientes sólo son tolerables en muy malas condiciones.

b/ Regiones llanas con climas templados, mediterráneos y tropicales.

c/ Regiones montañosas de climas templados, mediterráneos y tropicales.

d/ Se excluyen grandes desiertos y regiones polares muy vastas.

/La densidad

La densidad media de estaciones adoptada como representación del estado de las mediciones indudablemente es un índice incompleto. Sin embargo, en meteorología el conocimiento global de la atmósfera exige una cierta densidad mínima variable según el elemento que se desea medir. En la práctica, y por razones obvias se instalan estaciones donde se agrupan las mediciones de varios parámetros. En hidrología esa densidad media es menos representativa por cuanto existen extensas superficies sin corrientes de agua suficientemente importantes para ser medidas y también zonas reducidas con una rica red hidrográfica.

El total de pluviómetros instalados en América Latina supera los 22 500, lo que representa una densidad media de 1.11 pluviómetros por 1 000 km^2. De ese total, unos 14 500 pertenecen a América del Sur y unos 8 000 a América Central, incluyendo los países del Caribe, por lo que la densidad para la primera es 0.83 pluviómetros por 1 000 km^2 y para la segunda, 3.02 pluviómetros por 1 000 km^2.

Como se puede apreciar en el cuadro 1, las densidades por países tienen grandes variaciones que van desde 35.90 pluviómetros por 1 000 km^2 en Jamaica, hasta 0.22 en Paraguay.

Los países con mayores densidades que siguen a Jamaica, en orden decreciente son: Trinidad-Tabago con 30.62 pluviómetros por 1 000 km^2 y Cuba con 24.97. Luego siguen con densidades bastante menores: El Salvador con 6.62 pluviómetros por 1 000 km^2 y la República Dominicana con 6.12.

Se observa que figuran en los primeros lugares los países con alta densidad demográfica, relativamente poca extensión y con economías ligadas a la agricultura tropical. En cambio los países con más baja densidad de pluviómetros son principalmente de gran extensión y baja densidad demográfica como Paraguay, Bolivia y la Guyana Francesa. Los tres países más grandes, Brasil, Argentina y México, tienen 0.65, 1.47 y 1.62 pluviómetros por 1 000 km^2 respectivamente.

Los pluviógrafos son instrumentos que proporcionan más información sobre las características de las precipitaciones en un lugar que los pluviómetros, aunque sus costos son bastante superiores y los cuidados para mantenerlos en buen estado de observación mucho mayores. Conviene señalar que en la región la proporción de estos instrumentos con respecto a los pluviómetros va en aumento.

/La situación

La situación actual de la red hidrológica admite igualmente algunos comentarios. Con igual criterio que para los pluviómetros, se establecen, para una comparación general, las densidades por 1 000 km^2.

El total aproximado de fluviómetros (miras o escalas limnimétricas) instalados en América Latina alcanza a unos 5 700 lo que representa una densidad de 0.28 fluviómetros por 1 000 km^2 (faltan los valores de algunos países). Los países mejor dotados por orden decreciente son: Jamaica con 5.9 fluviómetros por 1 000 km^2, El Salvador con 1.67 y siguen Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Los que tienen densidades más bajas, en orden creciente, son: Paraguay, Bolivia, Brasil y Perú. Como se puede notar son países extensos y con grandes regiones de baja densidad demográfica.

Los limnígrafos o registradores de niveles de aguas dan una observación continua y automática de éstos y son especialmente útiles en zonas apartadas donde la presencia del observador es a veces difícil y en los casos de ríos de rápidas variaciones de altura. Estas ventajas a pesar de su alto costo, han determinado que su instalación sea cada día más frecuente. Las naciones con mayor cantidad por orden decreciente son: México, Chile, Venezuela y Argentina con 636, 256, 150 y 119 respectivamente.

A los efectos de cuantificar los escurrimientos de agua, la medición de alturas se traduce en caudales para lo cual se han de ejecutar aforos con relativa frecuencia. Por eso en columna aparte se indica el total de estaciones de aforo por país. Los que tienen gran interés en la navegación poseen un buen número de escalas para medir únicamente los niveles de agua y determinan caudales solamente en pocos lugares. Tal cosa ocurre principalmente en Argentina, Uruguay y Paraguay.

En los últimos 10 años algunas naciones han realizado ingentes esfuerzos por aumentar y mejorar las mediciones meteorológicas e hidrológicas. Varios recurrieron a la colaboración del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Fondo Especial) - PNUD/FE - para llevar a cabo proyectos cuyos renglones principales fueron: instrumental, equipos, vehículos, expertos y becas. Merecen citarse entre éstos Chile, Perú y Ecuador, cuyos proyectos iniciados en 1960 ya han sido terminados. Se encuentran en ejecución los de Guatemala, El Salvador, Honduras,

/Nicaragua,

Nicaragua, Costa Rica y Panamá que comenzaron a fines de 1967 y el de Colombia iniciado en 1968. En brasil están en realización dos proyectos, uno en la alta cuenca del río Paraguay y el otro en el Nordeste del país. También se lleva a cabo un proyecto para instalar un centro de instrucción de hidrología aplicada en la ciudad de Porto Alegre. Este país tiene en ejecución, además, un importante proyecto bilateral de ayuda con Estados Unidos en el campo meteorológico. En el Caribe se realiza asimismo con la asistencia del PNUD/FE un proyecto para mejoramiento meteorológico en las antiguas posesiones inglesas. Análogos proyectos hay en preparación en otros países: Paraguay, Bolivia y Uruguay.

En hidrología exclusivamente se han terminado ya tres proyectos: uno en Guyana en la cuenca del río Canje, otro en Panamá en las cuencas de los ríos Chiriquí y Chico, y el tercero en Ecuador en la provincia de Manabí.

El costo total de los proyectos citados con la asistencia del PNUD/FE alcanza a 27 152 510 dólares con una participación de los gobiernos de 14 849 000 dólares o sea el 54.7 %. Ellos constituyen una primera etapa de mejoramiento que los países deberán continuar como una tarea permanente. La gran cantidad de naciones interesadas muestra el reconocimiento de la necesidad de actividades meteorológicas e hidrológicas, que por haber estado relegadas han necesitado un esfuerzo concentrado en los últimos años.

El agua subterránea es una parte del recurso mucho menos conocida que la superficial y también mucho menos usada en la región, aunque en algunas pequeñas zonas constituye ya una fracción importante de la utilizada. Por lo general, los países tienen solamente conocimientos de la disponibilidad de agua subterránea en pequeñas zonas de su territorio. Estos son aproximados y resultado más de la extracción que se efectúa que de una evaluación técnica del recurso. En otras zonas, sólo se sabe vagamente de sus posibilidades de existencia, sin tener más conocimiento que el de estimaciones basadas en pozos aislados, mapas geológicos generales o exploraciones dispersas.

/En las

En las zonas donde se ha identificado la presencia de agua subterránea se conocen generalmente las profundidades a las que se encuentra pero no la potencialidad de los acuíferos y por lo tanto las posibilidades de extracción máxima, circunstancia que ha provocado serios problemas por descenso de la napa o intrusión de aguas saladas.

Algunos países ni siquiera han llegado a una recopilación sistemática de la escasa información disponible, y menos aún a su utilización. En pocas partes se encuentra una recopilación catalogada de los pozos existentes con sus características físicas, época de perforación, niveles de agua, volúmenes extraidos, calidades de la misma,etc. Sin embargo, en el último decenio, varios países redoblaron su empeño por obtener un mejor conocimiento del agua subterránea; algunos han recurrido a la ayuda del PNUD/FE para completar el financiamiento de la investigación de determinadas zonas y para capacitar técnicos en la especialidad. Así, en 1962-63 se ejecutó un proyecto en El Salvador sobre investigación de agua subterránea en el oriente del país y en 1964 uno similar para zonas del interior de Jamaica. A comienzos de 1965 comenzó en el oeste de Argentina uno muy amplio. En el altiplano boliviano se está llevando a cabo otro que se inició en 1968. En Centroamérica entre 1967 y 1968 comenzaron tres más en El Salvador, Costa Rica y Nicaragua.

Para apreciar la magnitud del esfuerzo baste señalar que todos éstos tienen un costo total de 9 993 800 dólares y que la participación a cargo de los gobiernos es de 4 336 000, o sea el 43.6 %.

Es muy poco lo que se ha estudiado en la región en materia de "balances hídricos" que tanta importancia tienen para conocer las interrelaciones entre los escurrimientos superficiales y subterráneos.

Otra investigación vinculada con las actividades hidrológicas, y estrechamente ligada al uso de agua, es la que se refiere a sus calidades, incluyendo la medida de sólidos en suspensión y arrastre de fondo, sales disueltas, contaminaciones, etc. Aunque no se dispone de estadísticas sobre el ritmo con que se realizan tales estudios en la región, la experiencia de personas informadas en la materia permite afirmar que ellas se cumplen generalmente en forma adecuada con relación a la formulación de proyectos específicos.

/3. Orientaciones

3. Orientaciones que se desprenden de la experiencia latinoamericana

a) Oportunidad y gastos necesarios para la obtención de informaciones meteorológicas

Se ha visto que el desarrollo histórico de la investigación hidrometeorológica en los países de América Latina, en cierta medida descoordinado, ha sido el fruto sucesivo o simultáneo de iniciativas de distinta naturaleza:

i) las de carácter predominantemente científico realizadas por misiones religiosas, conventos, centros de enseñanza, estudiosos independientes, etc.;

ii) las orientadas por objetivos prácticos más o menos inmediatos, ejecutadas por empresas de utilidad pública o privada, tales como: ferrocarriles, caminos, riego, municipalidades, agua potable, energía eléctrica, aviación, plantaciones forestales, grupos colonizadores, etc.;

iii) las realizadas simultáneamente con carácter de conocimiento general y de utilidad práctica, pero no limitadas a objetivos inmediatos; es el caso de los organismos nacionales o estaduales especializados en tales tareas como son las direcciones o servicios de meteorología e hidrología, que planifican su labor en ámbitos amplios y a largo plazo.

Las iniciativas del primer grupo y algunas del segundo en su calidad de precursoras de las investigaciones hidrometeorológicas han legado en nuestros países los registros más extensos disponibles ahora de observaciones pluviométricas, limnimétricas y fluviométricas.

Reconociendo que existen grandes diferencias entre los distintos países y que una evaluación general del desarrollo histórico puede inducir a simplificaciones excesivas, permite afirmar que:

i) las investigaciones del segundo grupo y sobre todo las del tercero, han sabido sacar provecho de sus antecesoras tomando en consideración sus estaciones de observación y sus registros estadísticos. Ello no significa que se hayan evitado siempre duplicaciones de esfuerzo (principalmente por falta de recíproco conocimiento), pero globalmente predomina la impresión de que los casos son poco numerosos y que el costo social de tales duplicaciones ha sido prácticamente despreciable;

/ii) tales

ii) tales investigaciones han permitido obtener un conocimiento general de la distribución de las precipitaciones pluviales en una parte apreciable de la región y de algunas de sus características;

iii) aunque los logros son muchísimo más modestos, en hidrología han posibilitado la instalación y operación de centrales hidroeléctricas con una capacidad global que se aproxima a 15 millones de kW; el riego asegurado de aproximadamente 7.2 millones de hectáreas y eventual de casi cuatro millones más; el abastecimiento de agua potable a cerca de 120 millones de habitantes, por mencionar sólo las principales realizaciones, y

iv) las modalidades de su desarrollo dual en cuanto al carácter inmediato y a largo plazo de los beneficios que se persiguen, le aseguran un equilibrio conveniente a los intereses de la colectividad y a la continuidad en la expansión del conocimiento.

Sin embargo, queda mucho por hacer. Así las inundaciones y las sequías han provocado con relativa frecuencia graves daños económicos y sociales en varias zonas del continente; recuérdese por ejemplo, la sequía de 1968 que dañó gravemente la producción agrícola, ganadera y de energía eléctrica en Chile; el aluvión que en 1970 sepultó las localidades de Yungay y Ranrahirca en el Callejón de Huaylas (Perú); la de Uruguay en 1942-43, que entre las pérdidas agropecuarias ocasionó la muerte de más de 600 000 cabezas de vacuno; Río de Janeiro sufrió graves daños por las inundaciones acaecidas entre los años 1965 y 1967; las grandes lluvias de 1959 producidas en Uruguay pusieron en grave peligro a la presa de Bonete que regula el Río Negro con una cuenca tributaria equivalente al 21 % de la superficie del país; en el Gran Buenos Aires las inundaciones provocadas por las crecientes del Río de La Plata en 1958 dejaron sin hogar a 100 000 personas.

Estos fenómenos hidrometeorológicos que en un mismo lugar ocurren con baja frecuencia, realzan la conveniencia de disponer de registros continuos de las mediciones pertinentes por muchos años. Los estudios correspondientes podrían suponer importantes decisiones en la planificación general, como elevar la capacidad generadora termoeléctrica, en relación con la hidroeléctrica; aumentar en determinadas cuencas la capacidad

/de los

de los embalses destinados al riego; intensificar la explotación agropecuaria de zonas más húmedas; intensificar el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos.

La crítica más severa y generalizada que merece el desarrollo de la investigación hidrometeorológica en la región es su falta de oportunidad, es decir, su insuficiente anticipación para proporcionar las informaciones requeridas para impulsar el desarrollo económico y social.

Las observaciones estadísticas hidrometeorológicas, no sólo interesan para el diseño de proyectos destinados a la utilización o control del agua, sino también para la operación de las mismas. Lamentablemente, en varios lugares de la región se ha comprobado que estaciones pluviométricas e hidrológicas con series relativamente largas se han interrumpido al terminarse la construcción de la obra de aprovechamiento. Ello no sólo perjudica su correcta operación, sino que inhabilita además el registro correspondiente para la extensión, por correlación, de otras series vinculadas a nuevas obras.

En los círculos técnicos se reconoce en general la necesidad de "adelantar" apreciablemente los calendarios de labores en las investigaciones hidrometeorológicas, con el refuerzo consiguiente en los presupuestos de inversión y los de gastos corrientes.

Consultas realizadas en algunos países muestran que los técnicos locales en la materia estiman que en todos ellos las redes de mediciones hidrometeorológicas son insuficientes para cubrir las necesidades presentes y que los presupuestos anuales deben ser incrementados tanto para ampliar esas redes cuanto para cubrir los gastos corrientes de operación, mantenimiento y análisis. También se menciona la necesidad de mejorar las condiciones económicas del personal que en muchos casos ha emigrado por bajas remuneraciones. La magnitud de tales incrementos se apreció entre un mínimo de 30 % y un máximo de 100 %.

A continuación se examina la situación en un grupo de países para los cuales fue posible obtener información reciente. Cabe anotar que dos de ellos, Chile y Ecuador, han avanzado apreciablemente en esta materia, ejecutando sendos proyectos, que ya están terminados, para ampliar las correspondientes redes de estaciones de observación y mejorar la organización de

/los servicios.[3]

los servicios.[3/] Los países del Istmo Centroamericano y Colombia están actualmente ejecutando proyectos similares. El análisis de la situación en todos estos países tiene el interés de que la planificación de sus redes es el fruto de la labor conjunta de expertos locales y de organismos internacionales, en varias disciplinas, con visión objetiva de las necesidades futuras. De Uruguay se sabe que tiene en preparación un proyecto de igual naturaleza, como ya se indicó.

Los cuadros 3 y 4 presentan la suma de inversiones y gastos corrientes que en investigaciones meteorológicas e hidrológicas tienen anualmente esos países, y sus relaciones con respecto a la población, presupuesto fiscal, producto bruto e inversión bruta nacional. Esas inversiones y gastos corrientes han variado entre 0.7 y 10.1 por mil del presupuesto fiscal correspondiente - 1968 - (Uruguay y Colombia). Esos mismos valores fluctuaron desde 0.6 hasta 3.8 por mil de las respectivas inversiones brutas nacionales (Uruguay y Colombia). Los índices del cuadro 4 que podrían considerarse más significativos son los correspondientes a Ecuador y Chile porque corresponden a un régimen en cierto modo estable, por las razones ya señaladas.

Tales valores en rigor reflejarían sólo un "ritmo" de investigaciones hidrometeorológicas, con relación a sus propios niveles y características de desarrollo. Esos índices podrían ser considerados, en primera aproximación como referencias de órdenes de magnitud adecuados. Argentina, con coeficientes similares, dispone de una red de estaciones pluviométricas y nivométricas bastante desarrollada, no estando la hidrológica al mismo nivel.

Los altos coeficientes que acusa Colombia y el conjunto de países del Istmo Centroamericano traducen el esfuerzo que están realizando para ampliar sus redes de estaciones.

Los mismos valores, pero expresados por habitante, varían entre 6 y 27 centavos de dólar (Uruguay y el conjunto de países centroamericanos).

3/ Para el Perú, donde también hay un proyecto similar terminado, no se pudo obtener la información correspondiente.

/Cuadro 3

Cuadro 3

AMERICA LATINA: GASTOS EN ALGUNOS PAISES EN INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS E HIDROLOGICAS, 1968

País	Población (Millones de habitantes)	Inversiones y gastos corrientes (Millones de dólares)	Inversiones y gastos corrientes (Dólares por habitante)
Argentina	23.0	4.60	0.20
Ecuador a/	4.5	0.43	0.09
Chile	9.3	1.30	0.14
Colombia	17.5	4.30 b/	0.25
Uruguay	2.6	0.15	0.06
Países del Istmo Centroamericano en conjunto c/	12.5	3.33	0.27
Globales	69.4	14.11	0.20

Fuente: Elaboración propia a base de informaciones directas.

a/ 1969.

b/ Promedio 1967-69.

c/ Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Se prefirió agrupar a los seis países por presentar características relativamente homogéneas y estar realizando conjuntamente un proyecto de ampliación y mejoramiento de sus servicios hidrometeorológicos.

/Cuadro 4

Cuadro 4

AMERICA LATINA: INDICES DE GASTOS EN ALGUNOS PAISES EN INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS E HIDROLOGICAS, 1968

(Por mil)

País	Presupuesto fiscal	Producto bruto	Inversión nacional bruta
Argentina	1.7	0.21	1.1
Ecuador	2.2	0.20	1.9
Chile	1.1	0.23	1.3
Colombia	10.1	0.76	3.8
Uruguay	0.68	0.08	0.63
Países del Istmo Centroamericano en conjunto	4.7	0.60	1.63
Globales	2.5	0.32	1.69

Fuente: Elaboración propia a base de informaciones directas.

/Por otra

Por otra parte, en los cuadros 5 y 6 se presentan para cuatro países desarrollados los gastos realizados en 1965, en investigaciones meteorológicas exclusivamente; también sus relaciones con la población, presupuesto fiscal, producto bruto e inversiones nacionales brutas. Como no fue posible obtener los gastos correspondientes a investigaciones hidrológicas, podría estimarse aproximadamente que el total de las investigaciones meteorológicas e hidrológicas hayan sido un 70 % superiores a las cifras de esos cuadros.

Teniendo en cuenta tal observación resulta interesante compararlas con las de los países de la región. Los gastos en dólares por habitante en los países desarrollados resultan como diez veces superiores a los que se realizan en los países latinoamericanos, y es lógico que así sea, porque también el ingreso medio por habitante en los primeros es varias veces superior al correspondiente en los segundos. Más coherente es la comparación de los índices del cuadro 6 (incrementados en un 70 %) con los del cuadro 4. Se observa que ellos son mayores en los países desarrollados que en los de la región aunque los órdenes de magnitud sean similares,

Los siguientes comentarios parecen pertinentes al considerar estos valores:

i) que los países desarrollados que aquí se examinan (exceptuando tal vez en cierta medida al Canadá) ya tienen un alto grado de conocimiento de sus recursos hídricos y que en gran medida están ya aprovechados;

ii) que aunque es aconsejable en general redoblar el esfuerzo que realiza la región en investigaciones hidrometeorológicas ("adelantando" como se dijo antes los calendarios de realizaciones) es alentadora la situación alcanzada ya por unos pocos países que aquí pueden considerarse líderes en la materia. Su ejemplo y experiencia convendría que fueran aprovechados por los otros;

/Cuadro 5

Cuadro 5

GASTOS EN INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS EN PAISES DESARROLLADOS, 1965

País	Población (Millones de habitantes)	Inversiones y gastos corrientes	
		(Millones de dólares)	(Dólares por habitante)
Canadá	18.2	20.6	1.14
Francia	46.5	18.2	0.49
Reino Unido	48.1	20.7	0.43
Estados Unidos	179.3	280.3	1.56
Globales	292.1	339.8	1.16

Fuente: OMM y elaboración propia.

Cuadro 6

INDICES DE GASTOS EN INVESTIGACIONES METEOROLOGICAS
EN PAISES DESARROLLADOS, 1965

(Por mil)

País	Relaciones con:		
	Presupuesto fiscal	Producto bruto	Inversión nacional bruta
Canadá	2.64	0.43	1.72
Francia	0.89	0.19	0.88
Reino Unido	0.67	0.21	1.15
Estados Unidos	1.72	0.40	2.24
Totales	1.53	0.36	1.94

Fuente: OMM y elaboración propia.

/iii) que

iii) que aunque para cada país sea diferente el énfasis que deba poner en los estudios hidrometeorológicos en función de sus características propias, de su nivel y modalidades de desarrollo, existiría un mínimo de investigaciones indispensables en la materia para no entorpecer a este último, incluyendo el aprovechamiento racional de los recursos hídricos. Las inversiones y gastos anuales correspondientes se situarían sobre 1.2 - 1.5 por mil de la inversión total anual bruta;

iv) el esfuerzo que en estas investigaciones mantienen los países como el Reino Unido, Francia, Estados Unidos, etc., no obstante disponer ya de un alto grado de conocimiento de sus recursos de agua, y tenerlos en gran medida aprovechados, prueban el carácter permanente y continuado que debe concederse a tales estudios.

Es interesante anotar aquí el valor estimado de algunos beneficios directos derivados de los servicios hidrometeorológicos o meteorológicos en general para un grupo de países;[4/] claro que las investigaciones hidrometeorológicas no se identifican con las meteorológicas, pero tienen mucho en común.

Aunque no se indican en detalle los métodos seguidos para evaluar los beneficios, los informes correspondientes a cada país muestran los campos y los principios en que se basan las apreciaciones. La predicción del tiempo y la consiguiente prevención de accidentes y reducción de pérdidas serían los conceptos dominantes; por ejemplo: predicciones de inundaciones que permiten proteger bienes que de otro modo se perderían; predicción de lluvias, granizos, nevadas, heladas, etc., para tomar medidas oportunas en la agricultura y la ganadería (adelantar cosechas, postergar esquilas del ganado, etc.); predicciones de tiempo para programar labores de construcción, operación de centrales generadoras de electricidad, economías de combustible en la aviación, de transportes y viajes, de prevención de incendios, etc.

También se mencionan entre otras cosas la ayuda para el correcto diseño de obras civiles.

4/ Véase: The Economic Benefits of National Meteorological Service - Informes presentados a la vigésima sesión del Comité Ejecutivo de la OMM - 1968 - Planning Report 27.

/En Australia

En Australia los beneficios económicos para el país durante el año 1966-67 debidos directamente al servicio meteorológico, se estimaron en unos 300 millones de dólares australianos. El costo de tales servicios en el mismo período fue sólo de 11 millones de la misma moneda. En la Unión Soviética se aprecian los beneficios que reportan los servicios hidrometeorológicos en 1 000 millones de rublos, o sea un valor entre 4 y 5 veces el costo total de ellos. En Francia calculan que el valor de los beneficios económicos del servicio meteorológico alcanza anualmente a unos 2 000 millones de francos, es decir, unas 20 veces su presupuesto anual. En el Reino Unido se estima que los ahorros producidos solamente a la agricultura por servicios especiales alcanzan a unos 10 millones de libras, siendo el costo de ellos unas 100 000 libras, o sea la relación sería de 100 a 1.

b) Distribución geográfica de las mediciones

En todos los países las estaciones pluviométricas y termométricas han sido las primeras en instalarse ya que su utilidad fue más manifiesta en las primeras etapas del desarrollo, con estructuras agrícola-ganaderas, situación que aún hoy predomina. Por tal razón las más densas redes de estaciones se han establecido en las zonas de mayor desarrollo económico y concentración demográfica. En las áreas poco desarrolladas y en particular las áridas y montañosas, la mayor densidad se encuentra en las zonas de agricultura bajo riego y en los valles.

Las redes fluviométricas han seguido similar secuencia aunque bastantes años después. La necesidad de medir el recurso en las altas cuencas o en zonas de posibles aprovechamientos (hidroelectricidad, riego y agua potable), ha configurado una distribución no tan estrechamente vinculada a la concentración demográfica y a la actividad económica aunque se mantiene en general una cierta proporcionalidad. El desarrollo de la hidroelectricidad obligó a dar a las mediciones hidrológicas un impulso que actualmente continúa. Los avances en materia de transmisión de energía eléctrica a distancias cada día mayores, estimuló a establecer estaciones en zonas sin ningún desarrollo y que en el pasado no se consideraban económicamente aprovechables. No cabe duda que este adelanto de la técnica ha modificado, en parte, la planificación de las mediciones hidrológicas.

/La relación

La relación citada entre estaciones de medición y la población ha sido cuantificada para los países de los que se dispuso información suficiente Argentina, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador, El Salvador y Uruguay. El criterio adoptado, en cada país, fue considerar la población dividida aproximadamente en tercios, estableciéndose tres categorías por orden de densidad, las más pobladas, las medianamente pobladas, y las más deshabitadas. Estas divisiones sólo fueron aproximadas por limitaciones de las estadísticas demográficas sobre todo en los casos de Argentina y Uruguay. Luego en cada agrupación política así determinada se calcularon además las densidades de pluviómetros y de fluviómetros.

El cuadro 7 muestra los resultados obtenidos. Como se anticipó, se nota en general el aumento de densidades de ambos instrumentos, en las zonas más pobladas y más económicamente desarrolladas.

Las densidades de pluviómetros en el grupo I que reúne las zonas de mayores densidades demográficas, superan a las de los grupos II y éstas a su vez a las del grupo III. La excepción presentada en Ecuador donde la densidad del grupo II supera a la del I, se debe a que la división política considerada no ha permitido dividir más exactamente la población en tercios.

En el caso de los fluviómetros, acontece igual ordenación de densidades según los grupos, con la excepción de Chile donde el II es superior al I. Esto se debe a que el I está formado sólo por la provincia de Santiago que comprende únicamente la cuenca del río Maipo.

Como dato de interés puede destacarse que en estos países para las zonas en que viven los dos primeros tercios de población, los pluviómetros tienen densidades que superan a 2.23 por 1 000 km^2, o sea mayores que el mínimo aconsejado por la OMM para regiones llanas (1.1 pluviómetros por 1 000 km^2). También se aprecian las mayores densidades de los países de menor extensión territorial.

En materia de fluviómetros, en los dos primeros grupos, casi todos los países superan el valor de 0.4 por 1 000 km^2 que es también uno de los mínimos aconsejados por la OMM en regiones planas.

Estos hechos confirmarían que en la región, alcanzada una cierta densidad de población, parece lograrse un nivel mínimo de densidades de estaciones para la obtención de la información básica.

/Cuadro 7

Cuadro 7

AMERICA LATINA: DENSIDADES DE PLUVIOMETROS Y FLUVIOMETROS POR PAISES EN REGIONES AGRUPADAS POR CATEGORIAS DE DENSIDAD DE POBLACION

País		Superficie 10^3 km^2	Población 10^3 hab.	Densidad hab./km^2	Estaciones Nº	Pluviométricas por 10^3 km^2	Estaciones Nº	Fluviométricas por 10^3 km^2
Argentina	Total	2 816.6	20 019.0	7.1	3 785	1.34	702	0.25
	I	308.0	9 746.0	31.6	1 050	3.41	140	0.45
	II	430.0	5 579.0	13.0	960	2.23	160	0.37
	III	2 078.3	4 694.0	2.3	1 775	0.85	402	0.19
Colombia	Total	1 139.1	17 465.7	15.3	1 110	0.97	341	0.30
	I	40.4	4 992.8	123.6	233	5.77	54	1.34
	II	138.4	6 053.0	43.7	334	2.41	87	0.63
	III	960.3	6 419.9	6.7	543	0.57	200	0.21
Costa Rica y El Salvador a/	Total	71.8	3 848.0	53.6	316	4.40	73	1.02
	I	6.7	1 205.0	180.4	79	11.83	18	2.69
	II	14.1	1 397.0	99.3	59	4.19	18	1.28
	III	51.0	1 246.0	24.4	178	3.48	37	0.72
Chile	Total	756.4	7 373.6	9.7	854	1.13	450	0.59
	I	17.7	2 437.4	137.5	86	4.86	28	1.58
	II	60.3	2 302.8	38.2	179	2.97	125	2.07
	III	678.4	2 633.4	3.9	589	0.87	297	0.44
Ecuador	Total	265.1	4 812.0	18.3	345	1.31	131	0.50
	I	33.1	1 566.0	47.3	78	2.36	50	1.51
	II	55.1	1 836.0	33.3	139	2.52	37	0.67
	III	174.3	1 410.0	8.1	128	0.73	44	0.25
Uruguay	Total	182.3	2 588.0	14.2	564	3.09	119	0.65
	I	0.5	1 203.0	2 200.0	16	29.63	-	-
	II	38.5	655.0	17.0	175	4.55	36	0.94
	III	138.4	730.0	5.3	373	2.70	83	0.60
México	Total	1 972.5	36 046.0	18.3	3 200	1.62	1 200	0.61

Fuente: Elaboración propia a base de informaciones directas.

a/ No se incluyeron los otros países del Istmo Centroamericano por falta de información.

/Esta estructura,

Esta estructura, en cierto grado irregular, de las redes de pluviómetros y fluviómetros se estableció principalmente para satisfacer necesidades inmediatas del desarrollo económico y social. Sin embargo, muchas causas han limitado en extensión e intensidad el avance de las investigaciones hidrometeorológicas en el marco del desarrollo general. Entre las principales cabe mencionar la ausencia de núcleos de población en extensas zonas de la región, lo que ha impedido encargar a lugareños tareas elementales como la medición de la lluvia o la lectura de escalas limnimétricas. En el caso de totalizadores de lluvia o limnígrafos dejados en áreas aisladas, son frecuentes sus deteriores por manos anónimas, obligando a abandonar esos sistemas de medición u ocasionando registros incompletos. Para mediciones de mayor cuidado, el problema se agrava ya que se requieren pobladores con un cierto grado de educación.

La falta de medios de comunicación, especialmente caminos, impidió y sigue impidiendo el acceso a muy grandes regiones, por lo menos en forma económica. En otros casos, aun existiendo aquéllos, las grandes distancias a recorrer encarecen y dificultan tanto el mantenimiento de las estaciones que sus registros se ven frecuentemente fragmentados. En algunos casos, el helicóptero y el avión anfibio han permitido salvar los inconvenientes señalados pero no como procedimiento rutinario.

Los accidentes geográficos destacados, como cadenas de montañas importantes, grandes alturas, amplias zonas de glaciares, desiertos extensos, vegetación impenetrable, aborígenes hostiles y fauna salvaje, son otras causas que frenan o han detenido las mediciones del recurso.

A los motivos anteriores deben agregarse presupuestos insuficientes que no permitieron mayores gastos para salvar en forma más efectiva por lo menos algunas de las dificultades citadas.

c) Detalle y precisión de las mediciones

El grado de certeza de los cálculos hidráulicos depende en lo que se refiere a los datos utilizados, de la cantidad y calidad de la información disponible y de la ajustada elección de las metodologías para su análisis y procesamiento. A igualdad de metodología y calidad técnica de los profesionales que manejan la información básica es evidente que el grado de exactitud de los cálculos realizados dependerá técnicamente sólo de la

/calidad y

calidad y cantidad de ella. Puesto que la precisión de las mediciones de los diversos parámetros del recurso agua en la actualidad no entraña problemas, su utilización en el cálculo puede decirse que en general es satisfactoria. Conviene, sin embargo, destacar algunos aspectos notados en América Latina, al margen de la tecnología usada, que atentan contra la confiabilidad de los registros.

El instrumental en uso no es, a veces, calibrado con la frecuencia recomendable y por lo tanto las lecturas pueden no ser correctas, sin que el error llegue a ser detectado por algún tiempo. También en la región es frecuente el uso de diferentes tipos de instrumentos cuyas medidas no son directamente comparables como sucede por ejemplo con evaporímetros de tanque, tipo Piche, tipo Lambrecht, etc.

Igualmente el cambio de ubicación del instrumental produce, en algunos casos, alteraciones en el registro, pero que afortunadamente pueden ser detectadas por un gráfico de valores acumulados.

Otra importante fuente de error son las observaciones fraguadas y observaciones realizadas con anterioridad o posterioridad a la hora de medición. No solamente se han constatado observaciones falsas en casos simples como la lluvia, sino también en aforos completos de ríos importantes. La medición "fabricada" por observadores avezados es difícil de detectar. No consideramos los errores debidos a equivocaciones involuntarias al leer el instrumental o al anotar la lectura ya que pueden ser notados cuando son importantes o no son frecuentes.

En el caso de los aforos de caudales, la alteración de la sección de medida introduce errores cuando se calculan a base de la curva de descarga y sólo son detectados al hacer el próximo aforo completo.

La transmisión del dato por telecomunicaciones agrega en ciertas oportunidades una posterior fuente de errores.

La mayor parte de los errores mencionados se deben fundamentalmente en los países de América Latina a la insuficiencia de personal dedicado al control de calidad de la información y de inspección de las estaciones.

/d) Simultaneidad

d) Simultaneidad de las mediciones

El estudio completo del recursos exige que sea analizado en forma integral, es decir, su evolución en el ciclo hidrológico y su distribución y calidad en la unidad hidrográfica o cuenca (nacional o internacional). Para lograr esto, es necesaria la medición ordenada y en lo posible simultánea de todas las variables que intervienen en el ciclo, lo que permitirá un control permanente de éstas y la seguridad de disponer en el futuro de datos fehacientes.

En rigor, la simultaneidad de las mediciones no implica que los distintos parámetros sean medidos en el mismo instante, sino solamente que se efectúen en forma periódica para todos ellos, de modo que sea posible establecer sus interrelaciones en el transcurso del tiempo (precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial y subterráneo, infiltración, extracciones y recuperaciones, etc.).

El tener siempre presente la cuenca como unidad fundamental descubrirá la necesidad de más mediciones para un mejor conocimiento de su balance hídrico, en cantidad y calidad, y de las posibilidades de aprovechamiento. En las cuencas internacionales esto implicará acuerdos entre los países interesados para que la información básica sea accesible a todos ellos.

Como en algunos países de América Latina existe desde hace años una situación institucional por la cual las mediciones meteorológicas e hidrológicas se realizan por organismos distintos, se debe buscar la forma de establecer y mantener un estrecho contacto entre ellos. Los organismos dedicados a la generación hidroeléctrica son en general los principales puntales de las mediciones hidrológicas, quienes se muestran reacios a ceder esas funciones que le son vitales, a servicios unificados de meteorología e hidrología. Los servicios meteorológicos nacionales por su parte concentran la mayor actividad de su especialidad, pero ello no impide que exista colaboración de otros institutos estatales o privados. La creación de comités o comisiones coordinadoras constituye un primer paso para lograr la máxima eficiencia del esfuerzo realizado en cada país; para eso se requiere cierta uniformidad de instrumentos, de técnicas de observaciones, de ubicación de estaciones, de concentración y elaboración de datos, de divulgación de los mismos, de estudios, de laboratorios, etc.

/En cambio,

En cambio, algunos países de la región, como Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana y Perú, cuyas situaciones institucionales, en este campo, no han alcanzado la rigidez de otros, han logrado cierto grado de unificación de las actividades relativas a meteorología e hidrología.

Hay un conocimiento básico general del recurso y de su utilización en el cual deben intervenir necesariamente especialistas de muy diversas disciplinas: meteorólogos, geólogos, hidrólogos, ingenieros, químicos, especialistas en sistemas de simulación y de uso de computadoras electrónicas, etc. Estas circunstancias hacen especialmente delicada la integración de los equipos técnicos requeridos para la coordinación en la obtención e investigación de datos hidrometeorológicos.

De acuerdo con lo que antecede, solamente organismos centralizados a nivel nacional, por lo menos en los países más pequeños, pueden abordar adecuadamente y en forma simultánea la realización de investigaciones directas y la coordinación en la recolección de datos hidrometeorológicos por diversos organismos especializados, así como la centralización y divulgación de informaciones. De otra forma se desperdiciarían esfuerzos y recursos.

Es oportuno destacar que las mediciones del material en suspensión y de arrastre en algunos casos pueden poner en evidencia procesos de fuerte erosión hídrica en la cuenca. En tales casos es necesario desarrollar las mediciones de tipo hidrológico en unión con los estudios de suelos, ya que la conservación y uso de ambos recursos están interrelacionados. Las alteraciones que suelen producirse en el escurrimiento, a causa de la erosión hídrica, pueden ser tan grandes que invaliden las observaciones realizadas con anterioridad, pero lógicamente que en tal caso el problema fundamental no es éste sino el deterioro de los suelos.

e) Comunicación de las necesidades de informaciones por parte de los usuarios a las autoridades que las obtienen

Tampoco es posible referirse a este tema en forma cuantitativa y discriminada. Cabe tan sólo generalizar las tendencias observadas en diferentes países, teniendo en cuenta que algunas pueden no reflejar fielmente la situación de casos específicos.

Al examinar antes la evolución histórica de las investigaciones hidrometeorológicas en la región, se señaló que los principales usuarios o "consumidores" de tales informaciones han establecido y operan por lo general

/sus propios

sus propios servicios de observación y efectúan el procesamiento de datos. Hasta hace pocos años, las empresas de aviación disponían de sus estaciones de observación y realizaban los promósticos de tiempo, para su propio uso. Actualmente, se apoyan en la información básica y pronósticos de los servicios meteorológicos nacionales, aunque en algunos casos, con la información básica de esos servicios, se reservan a sí mismas la tarea de predicción en las rutas de vuelo.

Los organismos estatales que se ocupan de planificar y ejecutar obras de riego continúan haciendo las investigaciones hidrométricas en los ríos y lugares en los que ellos mismos prevén la posibilidad de proyectos específicos. También operan muchas estaciones meteorológicas (observando principalmente precipitaciones, temperatura y evaporación), aunque en tales aspectos utilizan o complementan sus datos con los obtenidos por los servicios meteorológicos nacionales.

Igual cosa sucede con las empresas eléctricas de servicio público, sean ellas de iniciativa estatal o privada; realizan sus propias mediciones de caudales en los ríos y lugares en los que anticipan posibles aprovechamientos hidroeléctricos. Las grandes empresas mineras e industriales, autoproductoras de energía eléctrica o que requieren caudales de agua importantes al margen de los servicios públicos, investigan directamente los ríos potencialmente aprovechables y disponen de registros de sus operaciones, que directa o indirectamente dan un "historial" de los cursos de agua por ellas utilizados.

Las empresas que abastecen de agua potable a las ciudades importantes, corrientemente tienen sus propias estaciones hidrométricas y aun pluviométricas en los ríos donde poseen captaciones y en aquellos otros en los que previsoramente consideran como nuevas fuentes para ampliar sus servicios. Cuando esas empresas utilizan recursos subterráneos no siempre disponen de los estudios geológicos o investigaciones geofísicas que originaron tales captaciones, pero sí suelen disponer de registros sobre los caudales extraídos y las respectivas cotas piezométricas.

Los departamentos nacionales ocupados de la hidrografía y navegación fluvial llevan directamente el registro de los niveles de agua en los ríos y lugares que les interesa, sin delegar estas labores a otros servicios.

/Otros organismos

Otros organismos públicos menos vinculados con el agua como por ejemplo los encargados de planificar y construir caminos, ferrocarriles, etc., en muchos casos obtienen ellos mismos las informaciones requeridas en sus actividades (niveles y caudales máximos de los cursos de agua que deban cruzar para el diseño de puentes y obras de arte mayores) aunque también utilizan las informaciones generales de los servicios meteorológicos nacionales (para diseñar alcantarillas, cunetas y canales de guardia, etc.).

En Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana y Perú existen organismos centrales encargados con carácter amplio de la obtención y registro de informaciones hidrometeorológicas. Sin embargo, lo más probable es que aun en ellos, los organismos o empresas especializadas como las antes citadas, continúen directamente investigaciones hidrometeorológicas en los aspectos y lugares que les interesan específicamente.

La experiencia demuestra que ese modo de proceder en la práctica ha dado en general buenos resultados sobre todo si el organismo central aparte de planificar y encauzar las investigaciones y estudios básicos (con visión del ámbito nacional e internacional y con miras a largo plazo), cumple labores de coordinación, de normalización técnica, de centralización de las informaciones y de publicación de ellas.

Las dos circunstancias siguientes explican las ventajas de la modalidad que espontáneamente se ha desarrollado.

i) mayor disponibilidad relativa de recursos financieros de los "consumidores" de información. Para una empresa de energía eléctrica, un sistema de riego, o una compañía minera por ejemplo, los capitales y recursos financieros en juego para expandir sus actividades son de tal magnitud, que los gastos requeridos para sus investigaciones hidrometeorológicas resulten relativamente secundarios. Por eso estas últimas no se ven limitadas ni tienen demoras por razones financieras. En cambio, un organismo especializado central, para ampliar sus actividades, no sólo tiene las limitaciones inherentes a todas las instituciones dependientes de los presupuestos fiscales frecuentemente deficitarios, sino que además, en las asignaciones de recursos, la naturaleza propia de sus labores no atrae mucho la atención de los políticos.

/ii) economía

ii) economía y eficiencia globales en la distribución especializada de las investigaciones. Mencionando los mismos ejemplos anteriores, es fácil suponer que para la empresa eléctrica que va a expandir su capacidad de generación hidráulica en una cuenca en la que ya tiene una o varias centrales instaladas, o para el sistema de riego en operación que va a ampliarse por captación de otros cursos de agua, o la empresa minera que va a incrementar su producción en el mismo mineral, les resulta mucho más económico y fácil hacer directamente las investigaciones hidrometeorológicas adicionales, por la infraestructura física y de organización que disponen en el lugar, que para un organismo central, que no tiene instalaciones ni personal en la zona. Esta eficiencia al nivel de la economía de la empresa, también es válida al nivel de la economía nacional.

Por otra parte, si una determinada dependencia pública o una empresa o persona requiere circunstancialmente informaciones hidrometeorológicas, el recurrir al organismo especializado central sería corrientemente la forma más conveniente de obtenerla.

Sin embargo, es preciso destacar que los organismos dedicados a la obtención de información básica y su elaboración deben estar permanentemente atentos a las necesidades de los usuarios y programar la expansión de sus redes de estaciones y los programas de observaciones en consulta con los organismos de planificación general y sectorial. Asimismo, la elaboración de datos debe tener en vista no sólo el conocimiento general del recurso sino también sus aplicaciones.

f) Centralización y divulgación de las informaciones

La comunidad en general, a través de los organismos o individuos interesados en el recurso agua, es la receptora de la información obtenida por medio de los servicios especializados. Es lógico que se establezca un medio fácil de suministrar información cuando ésta se necesita.

Los distintos organismos que se dedican en los campos meteorológico e hidrológico a la obtención de información básica poseen sus propios archivos de datos. En pocas oportunidades hay intercambio estable entre ellos y cuando se efectúa se hace para determinadas zonas o por lapsos específicos. La información hidrometeorológica total no se concentra en ningún país, y

/sólo en

sólo en algunos casos se hace para algún parámetro. A veces los datos permanecen en el lugar de observación y en ciertas oportunidades no se sabe dónde encontrar la información obtenida por organismos ya desaparecidos.

En general, la información ya recolectada no siempre es de fácil consulta y a veces se desconoce la existencia de valiosos datos.

Una forma de obviar esos impedimentos para una rápida y cómoda consulta de la totalidad de los datos relativos a un lugar o zona, es la concentración de la información básica y elaborada en un archivo nacional meteorológico e hidrológico. La facilidad proporcionada por los métodos actuales de copia posibilita este logro por medios económicos y rápidos de los que hace años no se disponía.

El proceso de la obtención de información básica quedará interrumpido si ésta permanece almacenada en los archivos de los organismos, y aún corre el riesgo de perderse, cuando se encuentra en registros únicos de difícil consulta.

La publicación de la información básica y elaborada debe ser la etapa final de la obtención de datos para que los usuarios y la comunidad en general puedan hacer uso de ella con facilidad.

En América Latina la publicación de informaciones básicas no ha sido la norma frecuente en general, debido a falta de presupuestos y en algunos casos por considerarse que no había gran demanda. En otras oportunidades no ha existido una idea clara sobre qué datos debían publicarse. Es posible señalar que comparativamente, se han publicado más los datos hidrológicos que los meteorológicos, quizás porque los organismos a cargo de los primeros han sido más solventes.

En general, todos los países han publicado parte de la información básica obtenida, sea de meteorología o de hidrología, pero son muy pocos los que lo hacen con regularidad, siendo frecuente que las publicaciones se encuentren atrasadas hasta en varios años, especialmente las meteorológicas.

La información básica y elaborada de los lugares de mayor relevancia nacional por su interés económico o por su representatividad, debería publicarse por lo menos en forma de anuarios, así como la lista de los lugares no incluidos donde se hacen mediciones, especificando sus tipos y las fechas de aquéllos para las que se dispone de registros.

/Los usuarios

Los usuarios podrán en esta forma conocer rápidamente los datos disponibles.

g) Perspectivas de una mejor información

La obtención de datos y su elaboración han seguido en América Latina lo que podría llamarse procedimientos clásicos. Nuevas técnicas de observación y procesamiento de datos se han desarrollado en el último decenio, que por sus mejores posibilidades deberían ser adoptados por todos los países de la región en los próximos años. En general ellas permiten obtener datos y resolver problemas que anteriormente parecían insolubles.

Las técnicas radioactivas aplicadas a la hidrología superficial y subterránea, significan un positivo avance en el proceso de las observaciones, sea mejorando las que ya se realizan o posibilitando otras nuevas. La incorporación de radioisótopos permite llevar a cabo mediciones como determinación de caudales en lugares donde otros métodos conocidos no eran aplicables o tan exactos; velocidades y direcciones del agua subterránea; humedad del suelo; transporte de material en suspensión y arrastre; medición de nieve; etc. La medición de isótopos naturales permite otras determinaciones como fuentes de humedad; edad del agua, etc. Se puede decir que las posibilidades de las técnicas nucleares pueden ser usadas en todas las etapas de la investigación hidrológica.

En América Latina la utilización de estas técnicas es actualmente muy restringida y en la mayoría de las aplicaciones realizadas ha tenido más bien el carácter de experimentación o de ensayo. Unos pocos países solamente han hecho uso de ellas, siendo una de las dificultades principales la ausencia de técnicos para esta especialidad.

El empleo de las computadoras electrónicas y el desarrollo de toda una nueva técnica que apenas comienza, para el cálculo hidrológico basado en la generación secuencial de registros sintéticos conocida como "hidrología sintética", "hidrología paramétrica" o "hidrología estocástica" abre nuevos horizontes en la rapidez y confiabilidad de los cálculos.

El uso de las computadoras electrónicas en América Latina para trabajos rutinarios tanto de meteorología como de hidrología es aún muy restringido. Solamente un servicio meteorológico en la región pasa toda su información a tarjetas perforadas, pero no mantiene al día tal trabajo. En hidrología

/se han

se han realizado en varios países algunos cálculos con computadoras pero no constituyen labor periódica. Nuevamente la falta de especialistas ha conspirado contra un empleo más difundido de esta tecnología, pero también hay que agregar a esto el alto costo de las computadoras.

Los satélites artificiales han aportado nuevas técnicas de observación por cierto no imaginadas hasta hace pocos años. En meteorología suministran las fotografías de nubes de gran parte de la superficie terrestre, a medida que van pasando sobre la estación receptora y también es posible determinar la energía radiante emitida por la superficie la tierra o por la parte superior de las nubes.

Estas fotografías pueden ser extremadamente útiles en pronósticos hidrológicos al determinar la extensión superficial de la capa de nieve y sus variaciones con el tiempo.

Nuevos dispositivos de medida a distancia, más refinados, instalados a bordo de los satélites abren todo un campo actualmente en experimentación del cual se esperan resultados extraordinarios en las mediciones meteorológicas e hidrológicas.

En América Latina, las fotos de nubes transmitidas por satélites son recibidas en unos pocos países las que ayudan en forma efectiva a mejorar los pronósticos del tiempo, especialmente en dos regiones de ella: en la parte extrema del cono sur que carece de informaciones al oeste del mismo y en la detección prematura de huracanes en la zona del Caribe. El elevado costo del aparato receptor registrador de imágenes en tierra ha impedido que todos los países puedan disponer de él.

/4. Conceptos

4. Conceptos económicos en la obtención de la información hidrometeorológica

El análisis económico, en términos de "beneficios" y "costos", resulta de aplicación poco práctica para la formulación de planes globales de investigación hidrometeorológica, nacionales o regionales.

Mientras que la cuantificación del término "costos" no parece ofrecer mayores dificultades, cualquiera que sea el plan de instalación de estaciones de observación y los esquemas de mediciones, registros y elaboraciones de datos a establecer, la evaluación global de todos los "beneficios" que correlativamente pueden esperarse de ellos parece prácticamente imposible.

Si es difícil cuantificar el valor práctico que tienen en la actualidad los escasos registros pluviométricos de los países latinoamericanos, digamos con un siglo de antigüedad, ¿podría pretenderse que quienes los instalaban tuvieran entonces una estimación de los "beneficios" que rendirían en el transcurso de los años? Sólo en la última década ¿cuántas decisiones sobre estudios y proyectos se habrán apoyado en mayor o menor medida en tales series estadísticas? Similarmente, muchas estaciones de observaciones hidrometeorológicas que hoy pueden instalarse en zonas prácticamente deshabitadas de América Latina, es posible que con el correr del tiempo sean una de las bases o fundamentos de importantes decisiones en diversos sectores de la economía.

Las dificultades derivan tanto de la multiplicidad de las actividades económicas favorecidas, cuanto del hecho que la magnitud de los efectos económicos involucrados crece apreciablemente con la extensión en años de las series estadísticas.

Sin embargo, reduciendo parcialmente la importancia de estos efectos se ha de reconocer que como los "beneficios" de una investigación hidrometeorológica usualmente están bastante desplazados en el tiempo con relación al momento en que se toman las decisiones y se efectúan los

/gastos para

gastos para iniciarlas (instalación de las estaciones de observación), es preciso expresar los "beneficios" y "costos" en su "valor actual o presente", mediante una "tasa de actualización i" que reflejaría el "costo de oportunidad del dinero".[5/]

Como ese "costo de oportunidad" es en los países de América Latina relativamente alto, ya que se estima del orden del 10 % (en algunos casos más) el "valor presente" amortigua mucho los "beneficios" (y gastos) que se producen a varios años plazo.[6/]

Dicho en otras palabras, que mientras el valor práctico de los registros hidrometeorológicos crece apreciablemente con su extensión en años, y pueden rendir grandes beneficios varias décadas después del instante en que se tomó la decisión de iniciarlos, el "peso" de esos beneficios aún en el caso en que pudieran predecirse, aparecería en ese instante tanto más reducido, cuanto más tardíamente se materialicen.

La dificultad planteada para establecer con "rigor económico" todo un plan nacional o regional de investigaciones hidrometeorológicas, no supone desconocer la validez de la idea central expuesta por el señor Herfindahl [7/] de que las investigaciones sobre recursos naturales producen "beneficios" pero que también tienen sus "costos", de modo que es preciso tener ambos elementos en consideración para establecer la cuantía o magnitud de ellas con un criterio económico racional. En el fondo lo que se persigue no es hacer máxima la obtención de informaciones, sino su contribución real al ingreso nacional.

5/ Para ello, como se recordará, se reducen los beneficios y costos del año "n" al momento presente, elegido como origen de los tiempos, dividiendo dicha cantidad por $(1 + i)^n$.

El "costo de oportunidad del dinero" no es la tasa del mercado en capitales privados, ni aquélla a la que organismos públicos obtienen empréstitos, sino una cifra intermedia casi imposible de precisar con exactitud en una economía libre, en la cual se equilibrarían la oferta y la demanda de capitales para el conjunto de sectores de la economía.

6/ Mientras los que se producen a 10 años se "actualizan" con el 38 % de su valor, los que se producen a los 20 años lo hacen con el 16 %, los a 30 años con el 6 % y los a 50 años con el 2 % (cantidades todas aproximadas).

7/ Op. cit.

/El análisis

El análisis económico en términos de "beneficios" y "costos" resulta de aplicación más práctica en investigaciones hidrometeorológicas ligadas directamente a proyectos específicos, como se verá en un ejemplo concreto que luego se examina. La idea es evaluar entre los costos de los proyectos hidráulicos correspondientes: el costo de la información utilizada, así como los beneficios no percibidos y los daños contingentes (con un determinado grado de probabilidad), correspondientes a la "calidad" de los datos empleados.

Al pensar en un plan global de investigaciones hidrometeorológicas, (nacional o regional), es importante distinguir dos componentes:

i) las investigaciones generales que tienen el carácter de precursoras o de avanzada, que deben realizarse aún sin esperar beneficios específicos a corto o mediano plazo, y

ii) las que deben orientarse a proyectos u obras determinadas, y que requieren su justificación en relación con ellas.

Las investigaciones del grupo i) serían de relativamente baja densidad geográfica y poco complejas, en consecuencia, baratas. Ellas contribuyen al acervo del conocimiento básico del país. Podrían limitarse aproximadamente, por ejemplo, a los valores mínimos pertinentes recomendados por la OMM, adaptándolos a las características nacionales y a las posibilidades de desarrollo. Su ejecución corresponde al gobierno central a través de los servicios hidrometeorológicos.

Las del grupo ii) se definirían en cuanto a densidad geográfica, naturaleza de observaciones e instrumentos, elaboración de datos, etc., con la importancia y naturaleza del o los proyectos a que están relacionadas, factibilidad y calendario que se preven de sus realizaciones, etc. En general, estas investigaciones demandarán una mayor densidad relativa de recursos financieros y técnicos. Conviene recordar que este grupo de investigaciones debe seguir normalmente un proceso de aproximaciones sucesivas; en efecto, el grado de elaboración y factibilidad previsible de un proyecto está ligado a la información disponible, pero a su vez se señala que las investigaciones, generadoras de la información, deberían justificarse por la naturaleza, calidad y factibilidad aparente del proyecto.

/De ahí

De ahí que los planes de investigaciones hidrometeorológicas sean por naturaleza dinámicos (como lo son los planes de desarrollo económico general), debiendo ajustarse y ampliarse periódicamente, y que en su conducción intervengan los diversos organismos que utilizan esas informaciones en conformidad con sus necesidades y medios. A los servicios hidrometeorológicos nacionales, como ya se dijo, les corresponderían las labores de coordinación, centralización de informaciones y divulgación.

Creemos que los países de la región, en términos generales, están bien dotados por la naturaleza en recursos básicos y que son los recursos financieros y los humanos con preparación técnica, los críticamente escasos, de modo que es en la asignación de estos últimos donde el planificador debe actuar con mayor cautela.

Se piensa entonces, que en países como los de América Latina, será preciso tratar de suplir en gran medida una amplia disponibilidad de informaciones (que generalmente no existe), con el empleo de metodologías de cálculo más refinadas para extender series estadísticas, recurriendo inclusive a lo que se ha dado en llamar "hidrología sintética". Se trataría en consecuencia de aprovechar los avances logrados en la formulación de métodos para estimar las características de un río a partir de registros cortos, tomando en consideración los riesgos que tal proceder implica.

La necesidad de disminuir los daños de inundaciones, o la de aumentar la producción de alimentos por riego, reviste a veces y en determinados lugares, carácter tan urgente que resulta aconsejable tomar determinadas decisiones con información no tan detallada como sería conveniente a otros fines menos críticos.

5. La información hidrometeorológica relacionada con un determinado proyecto

Puede aceptarse genéricamente que "el volumen y calidad" de la información hidrometeorológica para un determinado proyecto hidráulico es función del tiempo "t_i" (años) utilizado para obtenerla. A igualdad de los demás elementos (calidad de los servicios de procesamiento, experiencia de los proyectistas, etc.,) cuanto mayor sea "t_i", más ajustado será el proyecto a la realidad y menores los riesgos del mismo por deficiencias en el diseño hidráulico.

Por otra parte, la información hidrológica tendrá un costo "G_i", que también será función del tiempo "t_i".

En la medida en que puedan evaluarse el costo del proyecto (incluyendo "G_i"), los beneficios que se esperan de él así como el "riesgo" de reducciones de éstos, imputables a déficit de información básica, se estará en condiciones de medir la "suficiencia" de ella y en consecuencia del tiempo "t_i".

Tanto un "t_i" muy corto que implique, por imprecisiones en el diseño del proyecto, riesgos ciertos de reducción de beneficios, como otro demasiado largo que los aminore con postergación excesiva de esos beneficios, resultarían inadecuados.

Así, supóngase que se pretende construir una central hidroeléctrica para colocar su energía hasta el año 2 000, como mínimo, en un mercado más o menos previsible hasta esa fecha. Imagínese también que la información hidrológica disponible en 1970 sea sólo de 5 años y no resulte posible hacer correlaciones aceptables con otras series pluviométricas o fluviométricas para superar la insuficiencia de "t_i".

El proyectista podría plantearse estas dos situaciones extremas:

i) ampliar el "t_i" en un "t_i adicional" de otros cinco años, pensando que la central pueda entrar a operar hacia 1980, corriendo el riesgo de que las obras adolezcan de deficiencias, traducidas en infra o sobredimensionamientos; o bien

ii) adoptar un "t_i adicional" de 20 años, con el cual estima que el dimensionado se ajustaría razonablemente a la realidad hidrológica, pero la central sólo entraría a operar en 1995, al

/final del

final del plazo en que se conocen "adecuadamente" las características del mercado y dentro del cual el "valor presente" de las centrales alternativas examinadas da lugar a una evaluación digna de confianza. En este caso, el crecimiento de la demanda exigiría entre tanto la construcción de otra central con lo que quedaría la hidroeléctrica examinada fuera de consideración para el período que interesa.

Debe reconocerse que aún en un caso simplificado como éste, no es muy cuantificable el grado de conocimiento que puede tenerse de los riesgos implícitos correspondientes, a los diversos tiempos de información utilizados.

A la luz de las ideas anteriormente expuestas, resulta de enorme interés examinar la experiencia valiosísima que en términos históricos ofrece a los técnicos el caso del embalse y central hidroeléctrica de Rincón del Bonete,[8/] por las siguientes razones:

i) soportaron una crecida muy excepcional en 1959, no sólo no registrada en la serie histórica, sino que ni siquiera fue puesta en evidencia por extrapolación en los cálculos de probabilidades hechos durante la preparación del proyecto;

ii) se trata de un conjunto de obras muy importante por su magnitud, por los beneficios que reporta al país, y porque para la época en que se inició su construcción, era en cierto modo una "avanzada" o "precursora" en América Latina;

iii) porque se dispone para esas obras de bastante información técnico-económica que permite analizarlas en los aspectos que aquí interesan, aunque en estas notas se hagan importantes simplificaciones, en obsequio a la brevedad.

El proyecto se realizó con un registro estadístico del río Negro de aproximadamente 30 años de extensión y la central entró a operar en 1945, trabajando normalmente hasta 1959, cuando sufrió serios daños, por la excepcional crecida, que la obligaron a permanecer fuera de servicio cerca de un año.

8/ Sobre el río Negro en la República Oriental del Uruguay.

/Se creó

Se creó entonces un severo déficit energético en el país, por el importante papel que representaba esa central en el abastecimiento eléctrico.

En el análisis aquí realizado, se examinan los acontecimientos en la situación real "t_i adicional" = o, y en las hipotéticas que habrían resultado si los proyectistas hubieran resuelto prolongar las observaciones del río Negro en 5 y 9 años respectivamente. En consecuencia, el crecimiento de la demanda eléctrica tendría que haberse atendido con capacidad térmica adicional (turbinas de vapor).

El origen de los tiempos para el cual "se actualizan" los beneficios y costos, en 1945.

En el primer caso influyen en forma apreciable los "beneficios cesantes" por la paralización de la central y sus consecuencias en la menor producción industrial, estimados en 37 millones de dólares.[9/]

En el tercero, si bien no se habrían producido directamente "beneficios cesantes" porque en el momento de las inundaciones (1959), por hipótesis, la central no habría estado aún en operación, el "beneficio no realizado" por postergación de las obras sería el excedente de costo de la energía térmica sobre el de la hidráulica entre 1946 y 1960.

En el segundo caso, el de la hipótesis de que Rincón del Bonente hubiera entrado a operar en 1955, intervienen tanto los "beneficios cesantes" por paralización de la central como el "beneficio no realizado", por postergación de ella (1946-55).

9/ En resumen su evaluación se efectuó así:

a) Se cuantificó la menor generación eléctrica, comparando la realmente producida con la que debió registrarse de haberse mantenido entre 1959 y 1961 las tendencias históricas.
b) El valor de esa energía se estimó a través del precio de venta de 25 milésimos de dólar por kWh (y no del costo).
c) Aproximadamente el 45 % de la energía "no generada" se supuso que debió destinarse a la actividad industrial y en consecuencia redujo su producción.
d) La pérdida en valor agregado industrial se estimó en 12 veces el de la energía que se restó al sector.

/Los "beneficios"

Los "beneficios" de la central hidroeléctrica se evalúan por el costo de la alternativa térmica equivalente más económico (similar potencia garantida [10/] e igual cantidad de energía disponible para el consumo).

El cuadro 8, resume la evaluación del "t_i adicional" en la forma indicada, teniendo en cuenta que sólo se refieren a los "elementos diferenciales", de equipamientos eléctricos equivalentes, es decir se prescinde de las otras centrales del sistema.

Las principales simplificaciones hechas en el cálculo son las siguientes:

i) en los casos correspondientes a las hipótesis de postergación de la entrada en operaciones de Rincón del Bonete, cabría suponer que la información adicional obtenida, habría inducido a incrementar la capacidad del embalse, además de ampliar los dispositivos de evacuación de crecidas. En consecuencia, habría aumentado algo su promedio de generación anual y como consecuencia los "beneficios realizados" y los "beneficios cesantes". En este caso, no se ha hecho ninguna corrección al respecto, tanto porque ella sería de pequeña magnitud cuanto por las dificultades que para estas notas demandaría su estimación;

ii) la "tasa de actualización" empleada ha sido de 8 % al año porque una tasa similar fue empleada realmente en los estudios y construcción de las obras (por ejemplo en la determinación de los "gastos intercalares", estimación de costos de las centrales termoeléctricas alternativas, etc.).

10/ La capacidad instalada de la central térmica se tomó un 25 % superior a la de la hidráulica a fin de tener una "seguridad de servicio" similar.

/Cuadro 8

Cuadro 8

RINCON DEL BONETE: EVALUACION DEI COSTO DE "INFORMACION ADICIONAL" CONSIDERADAS TRES FECHAS DE ENTRADA EN SERVICIO

Entrada en servicio		Costos actualizados (1945) (Millones de dólares)					Beneficios b/ actualizados (B) (millones de dólares)	Relación B/C	B-C (millones de dólares)
Años	Tiempo de información adicional (años)	Fijos y de operación	Perjuicios por la crecida (1959)	De información adicional	Beneficio no realizado a/	Total (C)			
1954	-	46.7	11.0	-	-	57.7	64.4	1.12	7.7
1955	5	17.5	11.0	0.4	9.5	38.4	29.9	0.78	-8.5
1960	9	3.9	-	0.6	22.8	27.3	17.6	0.65	-9.7

a/ Mayor costo de la generación térmica sobre la hidráulica.

b/ Costo de la generación térmica equivalente.

iii) No se ha evaluado específicamente el beneficio que representa para el país la central hidroeléctrica sobre la termoeléctrica equivalente en el balance exterior de pagos, tanto porque la inversión inicial tiene un componente menor en divisas, cuanto por la reducción en la importación del fuel-oil. Se supuso, que ese efecto estaba implícitamente contenido en la "tasa de cambio" utilizada para convertir a una sola moneda los costos y beneficios de ambas centrales.

Conviene subrayar en los resultados del análisis:

i) el reducido costo de la información hidrológica adicional, que prácticamente no influye en los resultados;

ii) la importancia que tienen el "beneficio no realizado" por la postergación de la entrada en servicio de la central hidroeléctrica y el perjuicio directo imputable a la crecida; y

iii) que el caso realmente acaecido es el único con relación beneficio/costo mayor que 1. Es decir que pese a la desgracia sufrida en 1959, y los perjuicios inherentes, la decisión de poner la central en el servicio en 1945 fue acertada, según este análisis retrospectivo.

En los cuadros 9, 10, 11 y 12 se encuentra en detalle el análisis correspondiente.

6. Conclusiones

Las redes de estaciones hidrometeorológicas y la información obtenida son un capital valioso que forma parte del patrimonio nacional.

7 En un plan global de investigaciones hidrometeorológicas, es importante distinguir dos tipos:

a) las generales que tienen el carácter de precursoras y que deben realizarse sin esperar beneficios específicos a corto plazo;

b) las que deben orientarse a proyectos determinados y se justifican por éstos.

Los objetivos de un plan de esta naturaleza serán proporcionar a mínimo costo la información necesaria, con la anticipación adecuada, para hacer posible el desarrollo económico y social que se haya programado.

/Cuadro 9

Cuadro 9

RINCON DEL BONETE: "COSTOS ACTUALIZADOS" DE LA CENTRAL OPERANDO DESDE 1945

Rubro	Unidad	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	2004	2005
I. INVERSION (inclusive costos de proyecto e información) a/	10^6 US$	(41.5)																	
1. Costos de capital b/	10^6 US$		3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	.....3.35	3.35
2. Costos de operación c/	10^6 US$		0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	.....0.42	0.42
Parcial 1 + 2	10^6 US$		3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	3.77	.....3.77	3.77
3. Valor actualizado d/	10^6 US$	46.7																	
II. PERJUICIOS CAUSADOS POR LA CRECIDA DE 1959																			
1. Remodelamiento de Rincón del Bonete	10^6 US$																1		
2. Beneficio cesante	10^6 US$																37		
Parcial 1 + 2																	38		
3. Valor actualizado	10^6 US$	11.0																	
III. VALOR TOTAL ACTUALIZADO		57.7																	

Fuente: Elaboración propia.

a/ Según UTE.
b/ 8.07 % de la inversión, para i = 8 % y n = 60 años.
c/ 1 % de la inversión.
d/ 3.77×10^6 US$ x 12.38; (5) 0.291×10^6 US$ = 2.91×10^6 US$.

Cuadro 10

RINCON DEL BONETE: "COSTOS ACTUALIZADOS" DE UNA CENTRAL TERMICA ALTERNATIVA OPERANDO DESDE 1945

Rubro	Unidad	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961 2005
I. UNIDADES TERMICAS																		
- Unidad A (50 MW) a/	10^6 US$	(8.4)																
- Unidad B (50 MW) a/	10^6 US$					(8.4)												
1. Costos de capital	10^6 US$		0.75 b/	0.75	0.75	0.75	1.50 c/	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50 ..... 1.50
2. Costos fijos de operación d/	10^6 US$		0.17	0.17	0.17	0.17	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33 ..... 0.33
3. Costos de combustible																		
Generación	Gwh		(123)	(345)	(396)	(485)	(527)	(400)	(523)	(601)	(677)	(678)	(516)	(550)	(760)	(280)	(770)	(531) e/ ..... (531) e/
Consumos específicos	$\frac{Kcal}{Kwh}$		(3 900)	(3 800)	(3 680)	(3 580)	(3 470)	(3 360)	(3 250)	(3 160)	(3 060)	(2 980)	(2 900)	(2 830)	(2 800)	(2 760)	(2 725)	(2 700) ..... (2 700)
Costos variables de operación f/	10^6 US$		1.21	3.30	3.65	4.35	4.60	3.35	4.25	4.75	5.20	5.15	3.75	3.90	5.30	1.94	5.30	3.60 ..... 3.60
Parcial			2.13	4.22	4.57	5.27	6.43	5.18	6.08	6.58	7.03	6.98	5.58	5.73	7.13	3.77	7.13	5.43 ..... 5.43
II. VALOR ACTUALIZADO		64.43																

a/ $150 \frac{US\$}{Kw} \times 1.12 \times 50\ MW = 8.4 \times 10^6$ US$, siendo 1.12 el factor de intereses intercalares.

b/ 8.88 % x 8.4×10^6 US$.

c/ 8.88 % x 16.8×10^6 US$.

d/ 2 % x I.

e/ Promedio de 1946-1960.

f/ Combustible, gastos de mantenimiento y mano de obra. (Precio medio combustible 2.0 US$/$10^6$ kcal).

/Cuadro 11

Cuadro 11

RINCON DEL BONETE: "COSTOS ACTUALIZADOS" DE LA CENTRAL EN LA HIPOTESIS DE QUE HUBIERE ENTRADO A OPERAR EN 1960

Rubro	Unidad	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	2005
I. RINCON DEL BONETE											"t_i adicional"										
Inversión	10^6 US$																(41.5)a/				
Costos de cap. y operación b/	10^6 US$																	3.77	3.77	3.77	....3.77
																		n = 45 años			
II. INFORMACION BASICA	10^6 US$		0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10											
"t_i adicional" = 9 años																					
III. BENEFICIO NO REALIZADO POR MAYOR COSTO DE LA GENERACION TERMICA c/	10^6 US$		-1.64	0.45	0.80	1.50	2.66	1.41	2.31	2.81	3.26	3.21	1.81	1.96	3.36	0.00	3.36				
IV. TOTAL COSTOS ANUALES	10^6 US$		-1.54	0.55	0.90	1.60	2.76	1.51	2.41	2.91	3.26	3.21	1.81	1.96	3.36	0.00	3.36	3.77	3.77	3.77	....3.77
																		n = 45 años			
V. VALOR ACTUALIZADO	10^6 US$	27.34																			

a/ Pese a que a la presa hipotéticamente construída en 1960 correspondería una mayor capacidad de embalse que la construída en 1945, se ha adoptado el mismo valor de inversión pues se ha supuesto una economía debido a adelantos tecnológicos y de cálculo.

b/ Véase cuadro 5.

c/ Costo diferencial entre la generación hidráulica y térmica equivalente.

Cuadro 12

RINCON DEL BONETE: "COSTOS ACTUALIZADOS" DE UNA CENTRAL TERMICA ALTERNATIVA OPERANDO DESDE 1960

Rubro	Unidad	1945	1946	1947	.....	1958	1959	1960	1961	1962	1963	.....	2004	2005
									n = 45 años					
I. Unidad térmica														
1. Inversión a/	10^6 US$	-	-	-	.....	-	-	(15.7)						
2. Costos de capital b/	10^6 US$	-	-	-	.....	-	-	-	1.39	1.39	1.39	.....	1.39	1.39
3. Costos fijos de operación c/	10^6 US$	-	-	-	.....	-	-	-	0.34	0.34	0.34	.....	0.34	0.34
4. Costos de combustible d/	10^6 US$	-	-	-	.....	-	-	-	3.30	3.30	3.30	.....	3.30	3.30
Total costos anuales	10^6 US$	-	-	-	.....	-	-	-	5.03	5.03	5.03	.....	5.03	5.03
II. Valor actualizado e/	10^6 US$	17.6												

a/ $140 \frac{US\$}{kW} \times 1.12 \times 100\ 000\ kW = 15.7$ millones de dólares, siendo 1.12 el factor intereses intercalares.

b/ $8.88\ \% \times 15.7 \times 10^6$ US$.

c/ 2 % de I.

d/ Con 531 GWh de generación anual, 2 500 $\frac{kCal}{kWh}$.

e/ $5.03 \times 12.1 \times 0.292$.

/No obstante

No obstante que las investigaciones hidrometeorológicas en América Latina han permitido el aprovechamiento del recurso hidráulico en importantes obras (riego, energía eléctrica, agua potable y para la industria, etc.), se señala su insuficiente anticipación para dinamizar más el desarrollo general.

Consultas realizadas entre los técnicos de algunos países señalan que los presupuestos hidrometeorológicos anuales deben ser incrementados tanto para ampliar las redes de estaciones de observación cuanto para operarlas, incluyendo mejores remuneraciones al personal. La estimación de la magnitud de tales incrementos fluctúa, según los países, entre un 30 y un 100 % de los actuales.

Aunque en cada país sea diferente el énfasis que se deba dar a los estudios meteorológicos e hidrológicos, según sus propias características y su nivel de desarrollo, existiría un mínimo de investigaciones para no entorpecer la evolución de este último. La experiencia de algunos países de dentro y fuera de la región sugiere que la suma de las inversiones y gastos anuales pertinentes se sitúe sobre 1.2 - 1.5 por mil de la inversión total anual bruta.

Es muy bajo el costo de la información hidrometeorológica directamente vinculada a un proyecto de desarrollo hidráulico en relación con el costo total de las obras pertinentes. Se estima que en general representa menos del 1 % y en muchos casos no llega ni aún al medio por ciento.

Por tanto el análisis para establecer si el volumen y la calidad de la información disponible son suficientes para ejecutar una obra no necesita incluir el costo intrínseco de la información adicional sino los "riesgos implícitos" y los "beneficios no realizados" por la postergación correspondiente de ella.

Los beneficios obtenidos de la información meteorológica e hidrológica son muy elevados en comparación a sus costos, según la experiencia de los países desarrollados.

Los beneficios derivados de los registros hidrometeorológicos pueden crecer apreciablemente con la extensión de éstos, sin embargo, su "incidencia actualizada" al momento de iniciarlos será tanto más reducida cuanto más tardíamente se materialicen y mayor sea la "tasa de actualización".

/La distribución

La distribución geográfica de las investigaciones hidrometeorológicas en América Latina aparece muy relacionada con el grado de desarrollo y la densidad demográfica.

No existen problemas derivados de la precisión del instrumental corrientemente empleado en la medida de los diferentes parámetros. Sin embargo, en la región la calidad de los registros se ve deteriorada, a veces, por errores humanos e instrumentales imputables fundamentalmente a la insuficiencia de personal dedicado al control de las estaciones de observación y de la información.

Las mediciones hidrometeorológicas deben tener en vista el balance del ciclo hidrológico en cada cuenca, debiendo efectuarse en forma periódica las de todos los parámetros, para establecer sus interrelaciones.

Los principales usuarios de la información hidrometeorológica en la región, han establecido y operan redes propias de estaciones de observación en forma separada de los servicios nacionales especializados. Esta experiencia ha dado en general buenos resultados, aunque debe subrayarse la conveniencia de incrementar las labores de coordinación, de normalización técnica, de centralización de datos y de su publicación. El organismo encargado de estas tareas convendría que trabaje en estrecha relación con los de planificación general y sectorial para programar periódicamente la expansión de las redes de estaciones de los servicios nacionales.

Las nuevas técnicas de observación y procesamiento de datos hidrometeorológicos que se han desarrollado en la última década, comienzan a ser aprovechadas por los países de la región con resultados muy promisorios. Se destacan entre ellas: las radioactivas, las derivadas de la utilización de los satélites artificiales, las de computación electrónica y las de hidrología estocástica.