

Estudios en honor de
Francisco Javier Domínguez
AUCH, 5ª Serie, N° 8 (1985): 403-415

REFLEXIONES SOBRE EL PORVENIR DE LA HIDRAULICA APLICADA A LA GENERACION HIDROELECTRICA

MARIO CAMPERO Q.
Santiago, Chile

I. INTRODUCCIÓN

En un informe presentado al 12º Congreso de la Conferencia Mundial de la Energía realizado en 1983 en Nueva Delhi, su autor desarrolla el tema de la planificación de sistemas eléctricos en el largo plazo. Recuerda que el criterio usado para la planificación es buscar el óptimo en el valor presente de los costos de operación y de capital de las diversas alternativas posibles y, a continuación, se refiere a los largos cálculos y al uso considerable de memorias de computación que exigen los modelos de planificación si deben tomar en cuenta la variabilidad de la hidrología en sistemas en que la generación hidráulica es importante. Finalmente, postula que en su país (Yugoeslavia), la siempre decreciente participación porcentual de la hidrogeneración en el sistema eléctrico nacional, permite modificar y simplificar los modelos en uso.

Tan clara manifestación del agotamiento de los recursos hidroeléctricos en algunas regiones, nos ha hecho pensar si con el tiempo, la enseñanza de la Hidráulica Aplicada seguirá en la Universidad el mismo camino que el curso de Ferrocarriles: su desplazamiento por el estudio de técnicas de uso más frecuente.

Es probable que este destino, a lo menos en cuanto se refiere a los proyectos hidroeléctricos, se visualice ya en algunas zonas muy explotadas, tal como Europa, que han sido tradicionalmente fuente de investigación y de transmisión tecnológica hacia otros países.

Nuestra impresión es que así irá sucediendo en el futuro próximo, de tal modo que los países con abundantes recursos hidroeléctricos aún no aprovechados, deberán prepararse para llevar adelante sus proyectos con una mayor tecnología interna que compense la eventual disminución de la asistencia internacional.

El presente trabajo tiene por objeto cuantificar las tendencias que hemos mencionado a la luz de las estadísticas mundiales y destacar, así, uno más de los elementos que deben tomarse en cuenta en la planificación de la instrucción de los futuros profesionales del país.

2. ENERGÍA Y ELECTRICIDAD

La energía es de una importancia tan grande en el desarrollo de los países, que su ritmo de crecimiento se ha transformado ya en una de las más serias preocupaciones de la humanidad. Las posibilidades de disponer de ella en forma abundante y barata se hacen cada vez más difíciles: los recursos convencionales se agotan, los nuevos están sujetos a la severa crítica de los ecologistas; otros, todavía se sostienen más en la esperanza que en los resultados de las investigaciones.

Es posible que la velocidad de crecimiento de la energía se frene si ciencia y tecnología no responden con la premura que se les exige. Sin embargo, de ninguna manera podría ser brusca esta eventual disminución, menos aún en los países en desarrollo, cuyo consumo de energía per cápita es bajo frente al de los países industrializados.

El cuadro 1 muestra el consumo de energía del mundo, global y per cápita y su proyección en el futuro. Estos valores se han dibujado en el gráfico 1.

En esta creciente producción de energía, la participación de la electricidad es cada vez más importante, como lo destaca el cuadro 2 para diferentes rubros de producción. Esta tendencia motiva la predicción que hace la WORLD ENERGY CONFERENCE (World Energy Resources 1985-2020/1978) y que exponemos en el cuadro 3.

3. LA HIDROELECTRICIDAD

El hombre está ligado al agua indisolublemente.

En los primeros tiempos, se asentó junto a ella o en lugares cercanos. Cuando esto ya no pudo ser, estudió la forma de manejarla para que lo acompañara a zonas distantes, asegurándose bebida, riego, aseo o recreación.

CUADRO 1

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ENERGÍA 1900 A 2010

Año	Producción anual (10 ⁶ Terajoules)	Población mundial (millones de habitantes)	Producción por habitante (Gigajoules/h/año)
1900	22	1.571	14
1925	45	1.965	23
1950	80	2.486	32
1960	118	2.982	40
1965	155	3.289	47
1970	201	3.632	55
1980*	254	4.414	58
1990	329	5.275	62
2000	426	6.135	69
2010	551	6.948	79

Fuente : —World Energy Conference-Survey of Energy Resources 1974.

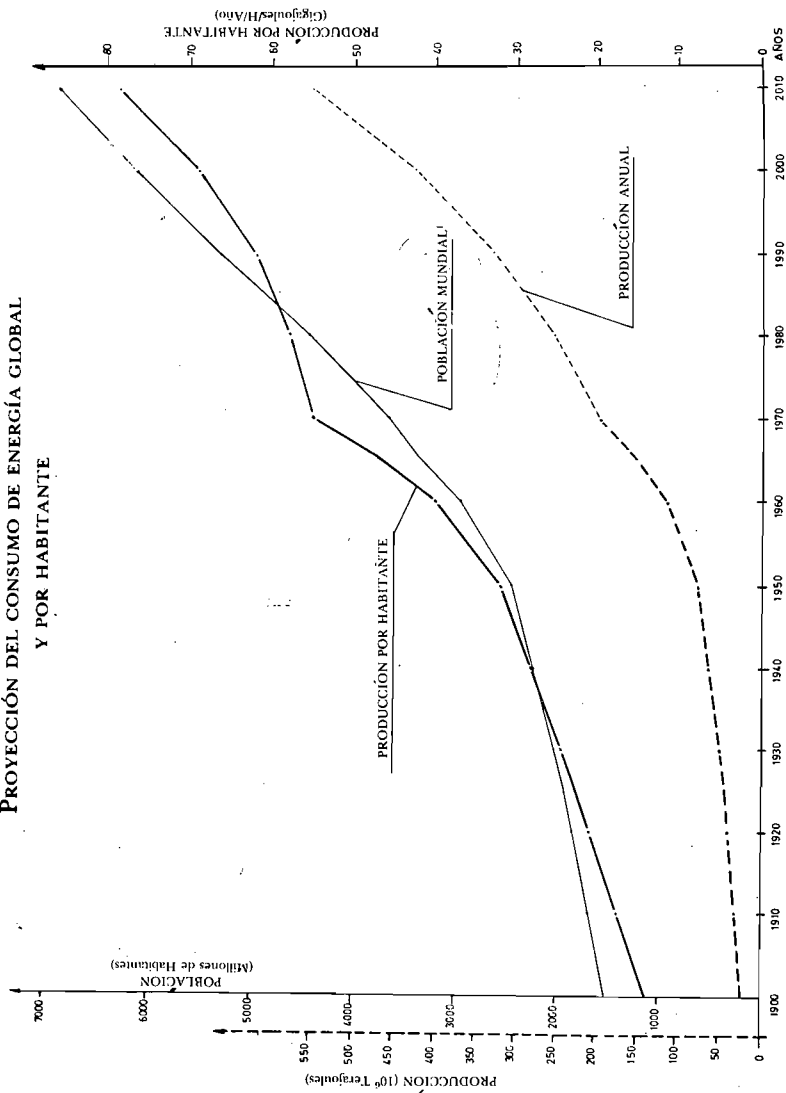
*Para las proyecciones se consideraron valores medios de alternativas pesimistas y optimistas de demanda y producción.

CUADRO 2

PARTICIPACIÓN DE LA ELECTRICIDAD DENTRO DEL CONSUMO
DE ENERGÍA EN LA EUROPA OCCIDENTAL (%)

Sector productivo	AÑO						
	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
Fierro y acero	16.9	20.4	22.7	24.3	29.0	31.0	32.0
Otra industria	31.7	33.5	34.1	35.6	38.7	42.0	45.0
Transporte	5.4	5.0	4.6	4.2	4.2	4.4	4.5
Residencial, Comercio y Agricultura	19.6	24.5	27.8	32.2	36.5	45.0	50.0
TOTAL	20.8	23.7	25.4	27.6	30.4	34.0	37.0

GRÁFICO I
PROYECCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA GLOBAL
Y POR HABITANTE



CUADRO 3
PARTICIPACIÓN DE LA ELECTRICIDAD EN
EL CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA
(10⁶ TERAJOULES)

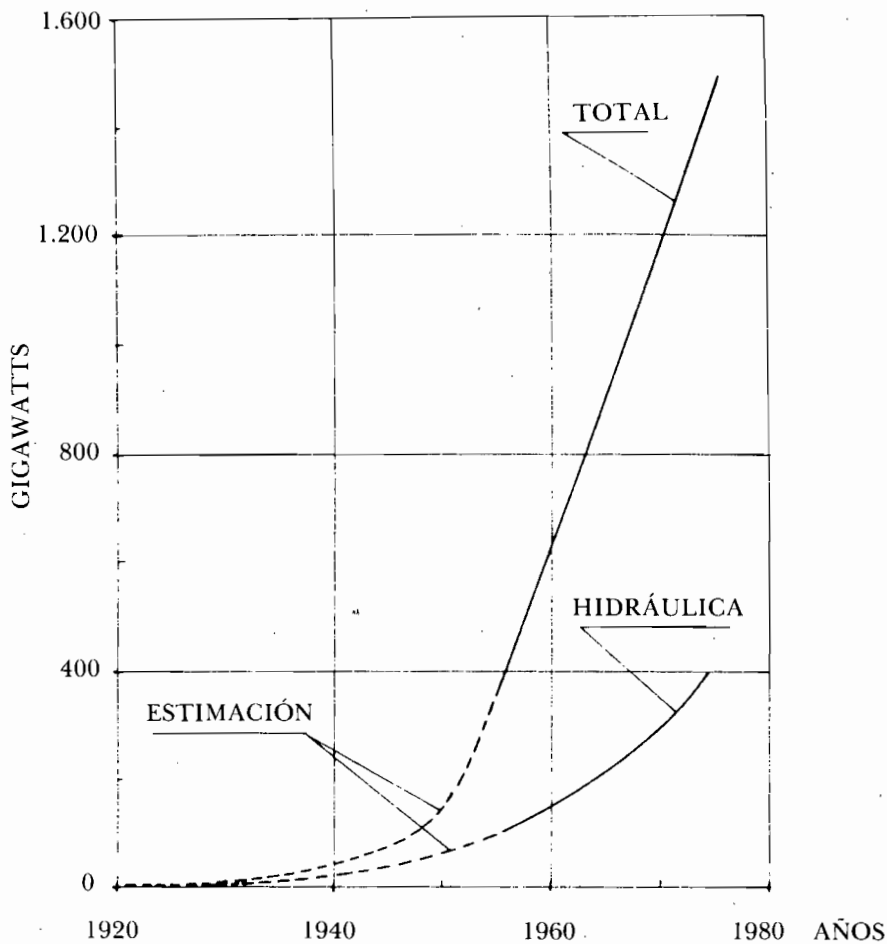
Consumo	Año			
	1972	1985	2000	2020
Energía total	204	280	426	676
Energía eléctrica	22	36	68	144
Participación de la electricidad (%)	11	13	16	22

Fuente: World Energy Resources 1985-2020.

Después descubrió que el agua tenía una energía que podía aprovechar y nació la rueda hidráulica. Muchos siglos pasaron sin que evolucionara significativamente esta manera de extraer su energía. Incluso, durante el período de la revolución industrial y la invención de la máquina de vapor, más evidente se hizo la limitación de las ruedas hidráulicas debido a la dificultad para regular su velocidad en la forma rápida que exigía la nueva industria, en especial, la textil. Sin embargo, el descubrimiento de la electricidad y la solución al problema de convertir energía mecánica en energía eléctrica (generador) y la eléctrica en mecánica nuevamente (motor), dio un desarrollo espectacular a la energía hidráulica en los albores de este siglo. En poco tiempo quedó en evidencia que era más barato producir movimiento usando electricidad que vapor, aun cuando se necesitaran importantes líneas de transmisión. La energía del agua cobró nuevo valor y en los años 30 los países industrializados se esforzaron en aprovechar integralmente su potencial hidroeléctrico. Este enfoque exigió dar un gran impulso a la investigación y al desarrollo de nuevas tecnologías en los campos de la electromecánica, de la hidráulica y de las estructuras. De esta manera, la hidroelectricidad toma un papel importante en la generación eléctrica, lugar que ha debido compartir con otras fuentes de energía en la medida que el notable incremento en el consumo de la electricidad ha sobrepasado con creces las disponibilidades de recursos hidráulicos económicos (ver gráfico 2).

GRÁFICO 2

CAPACIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL MUNDO



Fuente: World Energy Resources 1985-2020

En el cuadro 4 se han resumido los cambios porcentuales en la composición del consumo de energía primaria en los países con economía de mercado.

CUADRO 4

CÁMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN LOS PAÍSES CON ECONOMÍAS DE MERCADO (%) 1973-1983

	Países industrializados		Países en desarrollo		TOTAL	
	1973	1983	1973	1983	1973	1983
Petróleo	55	45	60	54	56	47
Gas natural	20	20	10	14	18	19
Carbón	18	22	22	23	19	22
Energía nuclear	1	5	—	—	1	4
Energía hidráulica	6	8	8	9	6	8
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Fuente: Free World Energy Survey Statistical Review of World Energy, 1984

Puede observarse que en estos últimos 10 años, aun cuando no ha habido un cambio sustancial en la composición del consumo, se nota que la disminución significativa en el uso del petróleo ha sido compensada con aumentos equitativos del carbón y las energías nucleares e hidráulicas. También puede notarse que han sido los países desarrollados los que han hecho un esfuerzo mayor para terminar de utilizar sus recursos de agua.

En el futuro mediano no se divisan cambios dramáticos en lo que hemos dicho y la tendencia será a que aumente el consumo de energía en forma de electricidad, conservándose el porcentaje de participación de la hidroelectricidad dentro de la composición general del consumo de energía. Así, a lo menos, es lo que se deduce de la previsión sugerida por la Conferencia Mundial de la Energía y que hemos simplificado en el cuadro 5.

4. DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE LOS RECURSOS HIDROELÉCTRICOS DISPONIBLES

La información de 1976 de la Conferencia Mundial de la Energía señala que hay en el mundo 2,2 millones de MW hidráulicos, instalados o por instalar, con un potencial de energía anual de 34,9 millones de terajoules

CUADRO 5

DEMANDA MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA (%)
(Valores medios de diversas alternativas)

COMPONENTES	AÑO			
	1972	1985	2.000	2.020
Carbón	25	22	24	29
Petróleo	43	43	32	18
Gas natural	17	14	14	9
Nuclear	1	6	16	29
Hidroeléctrica	5	6	6	6
Madera, solar etc.	9	9	8	9
TOTAL	100	100	100	100
Energía primaria (%)				

Fuente: World Energy Resources 1985-2020 (The World Energy Conference 1978)

(TJ) (9.7 millones de GW h). En ese año había instalados unos 372.000 MW, con una producción anual de 5.7 millones de TJ (1.6 millones GWh). Es decir, en 1976 había sido desarrollado aproximadamente un 16% de los recursos disponibles.

En el capítulo de Recursos Hidráulicos del "World Energy Resources, 1985-2020", de la World Energy Conference, 1978, se presenta una figura que reproducimos en el gráfico 3 y que muestra la distribución regional de las cifras anteriores.

En el mismo artículo figura también una estimación del desarrollo hidroeléctrico probable hasta el año 2020 que, con algunas modificaciones de forma, copiamos en el cuadro 6.

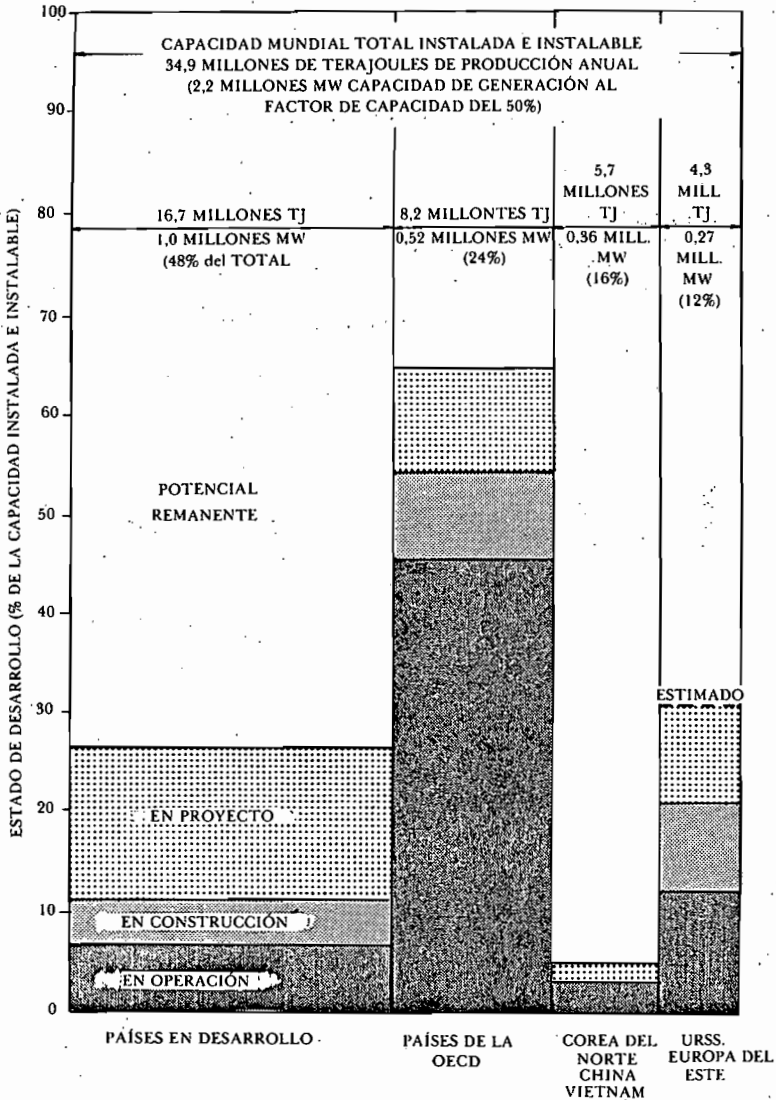
Veamos la información de algunos países en particular en el cuadro 7.

5. LA SITUACIÓN LATINOAMERICANA

Hemos bosquejado ya la situación de los países en desarrollo: sus recursos son abundantes; apenas han desarrollado de ellos un 10 a 12%; y sólo en unos 30 años estarán a un nivel de aprovechamiento semejante al de Europa hoy día.

GRÁFICO 3

RECURSOS HIDRÁULICOS MUNDIALES



OECD: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos

Fuente: World Energy Resources 1985-2020

CUADRO 6
DESARROLLO HIDROELÉCTRICO PROBABLE

Región	Millones GWh/año				
	Porcentaje (%)				
	Máximo desarrollable	1976	1985	2000	2.020
Países con economías socialistas	2.78 100	0.19 7	0.33 12	0.80 29	2.42 87
Países con economías de mercado					
— Industrializados	2.28 100	1.05 46	1.25 55	1.49 65	2.17 95
— En desarrollo	4.65 100	0.33 7	0.55 12	1.25 27	3.28 70
Total mundial	9.71 100	1.57 16	2.13 22	3.54 36	7.87 81

Fuente: World Energy Resources 1985 - 2020

CUADRO 7
UTILIZACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA
EN ALGUNOS PAÍSES DESARROLLADOS

País	Recursos Totales	Recursos Utilizados	%
	GWh/año	GWh/año	
Alemania	21.844	14.673	67
Francia	63.000	54.000	86
Austria	43.900	19.900	45
Suiza	32.000	29.488	92
Japón	130.004	82.270	63
Estados Unidos	701.508	256.781	37

Fuente: Survey of Energy Resources 1974

¿Cuál es el panorama en América Latina?

Tal vez lo mejor es reproducir algunos párrafos del estudio que la CEPAL publicó en junio de 1983 bajo el título de *Demanda de equipos para generación, transmisión y transformación eléctrica en América Latina*.

“En 1979, la potencia instalada de servicio público en América Latina era de 72.107 MW, de los cuales 43.558 MW (60,41%) eran de origen hidráulico y 28.549 MW (39,59%) de origen térmico”.

“Los programas de ampliación establecidos prevén para el período 1980-1990 la instalación de un total de 129.046 MW, correspondiendo 87.184 MW a proyectos hidráulicos y 41.862 a proyectos térmicos”.

“Estos incrementos suponen multiplicar por 2.8 en once años la potencia total instalada en 1979, por 2.4 la de origen térmico y por 3 la de origen hidráulico. La magnitud de estas cifras impone hacer algún comentario sobre la posibilidad de cumplimiento de estas previsiones. En primer lugar, cabe mencionar que estos programas no suponen un cambio excesivo respecto de lo acontecido en épocas anteriores; por el contrario, se sitúan dentro de las tendencias históricas, al menos desde 1960, tanto en lo que se refiere a la magnitud de los incrementos instalados, como al predominio de los proyectos de origen hidráulico sobre el total de los instalados”.

“Para el decenio 1991-2000 está prevista la instalación de un total de 61.793 MW, de los cuales 59.775 MW son de origen hidráulico y 2.018 MW de origen térmico”.

“Respecto a los instalados en 1990 esto significa un índice de crecimiento de 1.3 para la potencia instalada total. Estas cifras confirman lo señalado sobre lo incompleto que aún se encuentran los programas para ese decenio. Suponiendo que las tendencias de los programas de ampliación se mantuviesen tanto en lo que se refiere a la magnitud de los índices de crecimiento como a la proporción entre proyectos hidráulicos y térmicos, resulta razonable suponer para el decenio un índice de crecimiento respecto a lo instalado en 1990 de 2.5 para la potencia de origen hidráulico y de 2 para la de origen térmico, o sea, un índice de 2.3 para la potencia total por instalarse. Los índices así establecidos serían los más bajos desde 1960. En esta hipótesis, durante el decenio se instalaría un total de 266.524 MW, de los cuales 196.113 serían de origen hidráulico y 70.411 MW de origen térmico”.

Las cifras anteriores señalan que América Latina debe estar preparada para diseñar y construir proyectos hidroeléctricos que demandarán inversiones superiores a 6.000 millones de dólares anuales en lo que resta del siglo.

6. EL PAPEL DE LA UNIVERSIDAD

Los proyectos hidroeléctricos son esencialmente complejos, multidisciplinarios en lo técnico y de alto costo; además, su larga vida y la dificultad de modificar o de adecuar las obras a lo largo de ella, hacen casi inevitable tener que soportar los errores o resignarse a superarlos con elevado costo. Ello explica el prolongado período de gestación de las centrales hidroeléctricas y el cuidado con que se administra su construcción.

Los países deben estar organizados para afrontar estos desafíos. Tal vez puedan hacerlo eligiendo diferentes estructuras de organización, pero es indispensable que éstas se apoyen en centros de investigación y estudios de alto nivel, sean propios o contratados.

¿Cuáles son los principales aspectos que comprende un proyecto hidroeléctrico?

En primer lugar, la planificación, incluida la captación de datos de base.

En segundo lugar, la concepción general del proyecto; lo que exige un amplio conocimiento de las alternativas que el progreso técnico permite.

En seguida viene el diseño particular de cada obra, tanto civil como mecánico y eléctrico. Para esta etapa es indispensable una sólida educación formal y el uso de la más reciente documentación. Pero, también es indispensable la investigación experimental para adecuar las obras al terreno o resolver problemas de diseño en los que la teoría aún no es suficiente.

Finalmente, la materialización del proyecto exige aplicar técnicas de ingeniería de construcción y de administración de recursos y contratos que, en muchos sentidos, han evolucionado enormemente en los últimos 25 años y esperan un tratamiento de mayor rigurosidad científica que el disponible hoy.

Si desapareciera el interés por la investigación sistemática y académica en los centros profesionales tradicionales, debido a la ausencia de una motivación nacional, los ingenieros del futuro se encontrarían huérfanos de publicaciones actualizadas sobre proyectos de generación hidráulica e, incluso, de asesorías competentes.

Deberían buscar apoyo, entonces, dentro de su propio país o en aquellas regiones en donde el potencial de sus ríos hubiese mantenido vigente la construcción de las obras hidroeléctricas.

Bajo las circunstancias anteriores parece natural que el centro de gravedad de los estudios en esta especialidad deba desplazarse gradualmente desde los países industrializados hacia los países en desarrollo que cuenten con abundante riqueza hidráulica.

Las universidades de estos últimos, dentro de su permanente revisión de objetivos, deberán estar alertas para llenar este previsible vacío que se avecina en el campo de la hidráulica aplicada a la hidroelectricidad.

Chile tiene una excelente tradición hidráulica. Tal vez porque su clima exige regar artificialmente gran parte de sus suelos o por nuestro apego a culturas europeas, el hecho es que hemos tenido, y afortunadamente aún tenemos, destacados cultores del manejo del agua.

Las circunstancias anteriores, más el ejemplo y la asesoría extranjera, han servido para desarrollar las centrales hidroeléctricas del país. En el futuro puede convenir que las estructuras nacionales se refuercen de tal modo de, no sólo llenar el vacío que hemos señalado, sino también trascender las fronteras para prestar asistencia de alta calidad en aquellos países en desarrollo que, por falta de tradición, oportunidad o visión, no puedan tenerla en su interior.

La tarea debe definirse con mayor profundidad, pero no caben dudas respecto a la necesidad de mantener y superar la calidad de las cátedras de hidráulica teórica y aplicada, de acentuar la importancia de los laboratorios hidráulicos e hidromecánicos y, por último, de insistir en el hábito de exponer y publicar las investigaciones que se realicen. Estas conclusiones deberían ser válidas a lo menos para los próximos 30 años.

Finalmente, cabe reflexionar sobre el valor de la inversión anual que se deduce del informe de la *CEPAL*. Su magnitud es tal, que los países deben preparar responsablemente los equipos humanos capaces de llevar adelante esa tarea. Pero, además, el monto de las inversiones parece justificar con creces una ambiciosa actitud de participación en la inmensa tarea regional que ya se inicia, con el objeto de no quedar excluido de los beneficios que generará el esfuerzo profesional e industrial que ella conlleva.