

GEOFISICA INTERNACIONAL

REVISTA DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, AUSPICIADA POR EL INSTITUTO DE GEOFÍSICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Director: Julián Adem

Subdirector: Manuel Maldonado-Koerdell

Vol. 4

México, D. F., 1o. de Abril de 1964

Núm. 2

III CONFERENCIA TÉCNICA SOBRE HURACANES Y METEOROLOGÍA TROPICAL TECHNICAL CONFERENCE ON HURRICANES AND TROPICAL METEOROLOGY

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

SESIÓN GENERAL (I) — GENERAL SESSION (I)



COSTOS Y TECNICAS METEOROLOGICAS PARA DESARROLLAR RECURSOS HIDRICOS TROPICALES

E. B. KRAUS *

INTRODUCCION

Esta plática se planeó inicialmente como introducción al propuesto simposio sobre recursos hídricos tropicales. El simposio se evaporó y no estaba seguro de que esta nota fuese aún presentada. Su contenido científico es pequeño, pero se me aconsejó no retirarla y tal vez así quede justificada mi discusión de la limitada aplicabilidad de las actuales técnicas meteorológicas. Es necesario reconocer tales limitaciones si va a relacionarse honesta y provechosamente la meteorología con los costos de desarrollo de recursos hídricos —o si se ampliará su valor futuro. Finalmente, aunque ahora las consideraciones meteorológicas apenas tienen importancia dominante, los costos de muchos desarrollos son tan altos que hasta el ahorro de pequeñas fracciones puede sumar grandes cantidades de dinero.

COSTOS Y MONTO DE GANANCIAS

Había una vez un labrador cerca de Tombuctú cuya tierra era desigual; la lluvia —su único recurso hídrico— era variable y tenía un problema: ¿cuánta semilla debía comprar para lograr máximas ganancias?

* Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Mass., U.S.A.

COSTS AND METEOROLOGICAL TECHNIQUES IN TROPICAL WATER RESOURCES DEVELOPMENTS

E. B. KRAUS *

INTRODUCTION

This talk was planned initially as an introduction to the proposed symposium on tropical water resources. The symposium has evaporated and I was not sure if this note should be still presented. Its scientific content is small. I was advised not to withdraw, however, and perhaps this may be justified by my discussing the limited applicability of present meteorological techniques. It is necessary to recognize these limitations, if meteorology is to be related honestly and profitably to the costs of water resources developments — or if its future value is to be extended. Finally, although meteorological considerations are hardly of dominating importance at present, the costs of many developments is so high, that even small fractional savings can involve huge sums of money.

COSTS AND VALUE OF BENEFITS

There once was a farmer near Timbuktu. His land was patchy; rain —his only water resource— was variable. He had a problem: how much seed should he buy to reap maximum benefits?

* Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Mass., U.S.A.

de Tombuctú hayan infraestimado la posibilidad de sequía. Así, calcula que la probabilidad de cosechar B^* con gasto c_2 no es p sino $p' = 0.9 (1 - 0.1) = 0.81$. Para lograr B^* con una probabilidad de 0.9 tendría que gastar c_3 . La diferencia $c_3 - c_2$ es el precio que pagará por desconfiar del Servicio Meteorológico de Tombuctú. Es el castigo de la ignorancia, castigo que es una función de incremento de variancia natural de la precipitación inducida por falta de información sobre ella.

Consideraciones similares se aplican principalmente en todas escalas a los desarrollos de recursos hídricos. Los costos aumentan con la variabilidad natural de nuestro recurso. Cualquier falta de información o incertidumbre que podamos tener acerca de las propiedades estadísticas de tal recurso aumenta sus costos en una cantidad que tiende a complicar el efecto de su variabilidad natural.

ALMACENAJE, DISPONIBILIDAD Y RENDIMIENTO

El desarrollo de recursos hídricos implica su regulación. Consideremos el caso extremadamente simplificado donde una cantidad específica u de agua disponible rendiría ganancias de valor b , de modo que:

$$b \equiv b(u) \quad (2)$$

El agua que debe regularse por un almacenamiento con capacidad S , se relaciona con los costos por

$$c \equiv c(S) \quad (3)$$

El rendimiento natural de la presa es y y $\bar{y}$ puede ser su media sobre un período $t_m - t_0$. Debe esperarse que el desarrollo incluya una pérdida de consumo en cantidad f causada por evaporación, filtración y efectos similares.

La cantidad u nunca faltará si:

$$S + \int_{t_k}^{t_m} (y - u - f) dt \geq 0 \quad (4)$$

para cualquier período arbitrario $t_m - t_k$.

Teóricamente las ecuaciones (1), (2), (3) y (5) permiten establecer la más ventajosa combinación de c y b , o S y u . En la práctica la distribución de probabilidad de

$$Y_{km} = \int_{t_k}^{t_m} (y - \bar{y}) dt$$

nunca puede especificarse por completo, pues depende de la distribución y auto-correlación del rendimiento natural y . Aunque se conociese totalmente, el problema matemático general de obtener la distribución de Y_{km} para todos los posibles valores de $t_m - t_k$ parece no resuelto hasta ahora.

mated the likelihood of drought. He therefore calculates that the probability of harvesting B^* with expenditure c_2 is not p but $p' = 0.9 (1 - 0.1) = 0.81$. To get B^* with a probability 0.9, he would have to spend c_3 . The difference $c_3 - c_2$ is the price he pays for his distrust of the Timbuktu Weather Bureau. It is the penalty of ignorance. This penalty is an increasing function of the natural rainfall variance compounded by the lack of information about it.

Principally similar considerations apply to all scales of water resources development. Costs increase with the natural variability of our resource. Any lack of information or uncertainty that we may have about the statistical properties of this resource further augments the costs at a rate, that tends to compound the effect of natural variability.

STORAGE, SUPPLY RATE AND YIELD

The development of water resources implies regulation. Consider the extremely simplified case where a specific rate of water supply u would provide benefits of value b , so that:

$$b \equiv b(u) \quad (2)$$

The supply is to be regulated by a storage of capacity S , which is related to the costs by:

$$c \equiv c(S) \quad (3)$$

The natural yield at the damsite is y , and $\bar{y}$ may be its mean over a period $t_m - t_0$. The development is expected to be associated with a consumptive loss of rate f , caused by evaporation, seepage, and similar effects.

The supply u will never fail if:

$$S + \int_{t_k}^{t_m} (y - u - f) dt \geq 0 \quad (4)$$

for any arbitrary period $t_m - t_k$.

Theoretically equations (1), (2), (3), and (5) might permit establishment of the most profitable combination of c and b , or S and u . In practice the probability distribution of

can never be specified completely. It depends on the distribution and the auto-correlation of the natural yield y . Even if these were fully known, the general mathematical problem of obtaining the distribution of Y_{km} for all possible values $t_m - t_k$ appears to be unsolved so far.

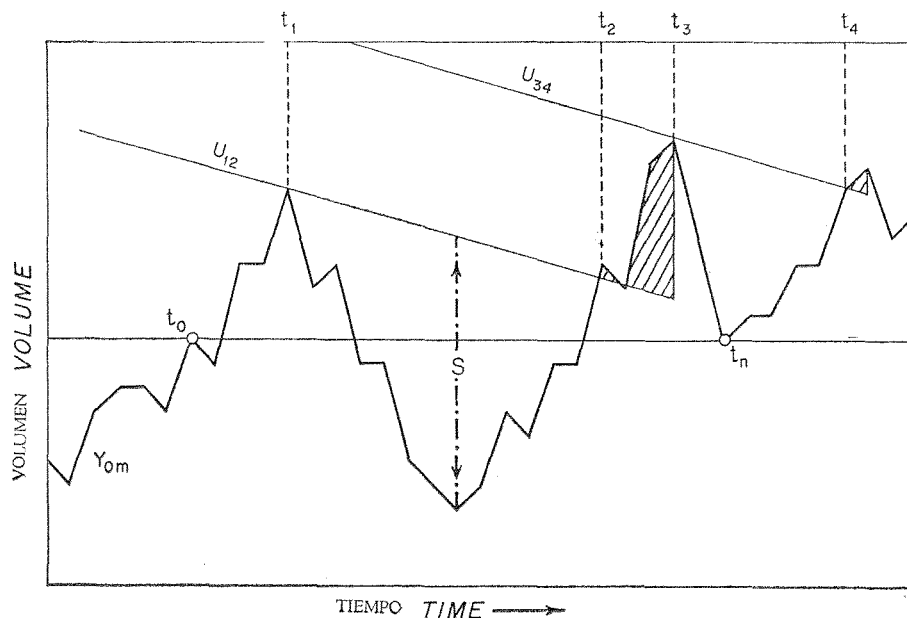


Fig. 2.—Gráfica de volumen/tiempo.

Fig. 2.—Volume/time graph.

La función de volumen Y es positiva durante períodos con rendimiento real en exceso del promedio y negativa en períodos con rendimientos deficitarios y $Y = 0$ para $t_{km} = t_0$ y $t_m = t_n$. Para simplificar se ha calculado que $u + f$ es constante. La desigualdad (4) puede ahora escribirse:

$$S + Y_{km} \geq (u + f - \bar{y}) (t_m - t_k) U_{km} \quad (4')$$

que se resuelve gráficamente.

La línea llena en el esquema de la Fig. 2, representa la función Y_{om} en alguna situación hipotética. La función U_{km} es dada entonces por varias líneas rectas con pendientes $u + f - \bar{y}$ que cruzan la línea Y una vez a lo menos. En la Fig. 2 dos líneas de ese grupo se muestran por trazos delgados discontinuos. El requisito de almacenamiento mínimo para una cantidad disponible u puede ahora obtenerse como máxima diferencia posible entre U e Y que se ha marcado por línea gruesa discontinua en dicha figura. Al contrario, si se sabe la magnitud de almacenamiento, el mismo diagrama permite derivar la mínima cantidad firme que puede garantizarse como disponible en cualquier tiempo. De manera similar, con registros suficientemente largos para y , podríamos especificar el almacenamiento necesario para dar agua en una cantidad u' con probabilidad p .

En la práctica las cosas no son tan fáciles, aunque la presente descripción bastará para indicar el tipo de solución empleada comúnmente para establecer relaciones entre demanda, almacenamiento y rendimiento natural. Un obvio inconveniente del método es su dependencia de un muestreo de escurrimiento de agua limitado por el tiempo. La incertidumbre resultante de nuestra estimación de Y se reflejará en más altos costos como se ha discutido previamente. El probable error de muestreo de Y aumenta al decrecer la duración del registro de y .

The volume function Y is positive, during periods when the actual yield is in excess of average, it is negative during periods of yield deficits and $Y = 0$ for $t_k = t_0$, $t_m = t_n$. For simplicities sake, it is assumed that $u + f$ is constant. The inequality (4) may now be written:

which can be solved graphically.

The full line in the schematic Fig. 2, represents the function Y_{om} in some hypothetical situation. The function U_{km} is then given by a set of straight lines, with slope $u + f - \bar{y}$ which cross the Y line at least once. In Fig. 2 two members of this set are shown by the thin broken lines. The minimum storage requirement for a supply rate u can now be obtained as the greatest possible difference between U and Y . It is marked by the heavy broken line in the present figure. Alternatively if the size of the storage is given, the same diagram permits derivation of the minimum firm supply, which can be guaranteed to be available at any time. In a similar way, with a sufficiently long record for y , we could specify the storage, needed to supply water at some rate u' with probability p .

In practice, conditions are not as easy. The present description may suffice, however, to indicate the type of approach, commonly used to establish a relation between demand, storage and natural yield. One obvious drawback of the method is its dependence on a single time-limited sample of water flows. The resulting uncertainty in our estimate of Y will be reflected in higher costs as discussed previously. The probable sampling error of Y increases with decreasing record length of y .

Las técnicas meteorológicas pueden usarse bajo circunstancias favorables para confirmar estimaciones de características de rendimientos y otras variables que entran en las ecuaciones (1) – (4). Se necesita que el incremento resultante en información sea a la vez verdadero y aceptable como para calcular el desarrollo y solamente así puede influirse directamente en sus costos.

Los siguientes ejemplos se apoyan en algunas experiencias personales y necesariamente son aislados y limitados, pero una discusión más sistemática y amplia rebasaría el presente objetivo y sería de dudosa significación.

EJEMPLOS DE TECNICAS METEOROLOGICAS QUE AFECTAN LOS COSTOS DE CONSTRUCCION

Los costos de construcción —en el caso presente la relación (3)— pueden reducirse adaptándose con inteligencia a las variaciones estacionales o diarias del tiempo. En 1955 se rompió una nueva presa de tierra en Kenya Oriental. El contratista atribuyó el desastre a insuficiente capacidad del vertedor de demasías causada, a su vez, por subestimación de la máxima retención de precipitaciones por una dependencia oficial del Africa Oriental. Aparentemente estaba en lo cierto, pues hubo una fuerte tormenta. Pero, con una capacidad para más de 35,000 cucecs de retención en unas 40 millas cuadradas, el vertedor parecía muy adecuado y sorprendentemente sin señales de deterioro. Participé en la investigación y por último encontramos un testigo local que vio romperse la presa. En apariencia no se abrió por arriba sino por abajo, deteniéndose por unos segundos y aún minutos como un arco. Se hizo un estudio de los métodos de construcción y enrocamiento que finalmente explicaron la ruptura por compactación seca. El contratista había tenido que acarrear agua para humedecer el relleno de la presa al construirse, costosa operación que subestimó el efecto de evaporación ecuatorial durante la sequía.

La ruptura de la presa pudo evitarse con uso de más agua o humedeciéndola durante la noche a menor costo. Un elemental cálculo meteorológico indicaba que la evaporación a medio día era, por lo menos 20-30 veces mayor que en la noche. En este caso, un simple consejo meteorológico se hubiese pagado a sí mismo ampliamente.

A veces es posible en algunos casos, usar pronósticos de tiempo a pesar de su probabilidad para hacer más eficiente las operaciones. Por ejemplo, en el Australian Snowy Mountains Development se enviaron grupos hidrográficos a pequeñas y remotas corrientes indicadas por pronósticos meteorológicos, originándose más rápidas estimaciones que si se hubiese muestreado al azar.

ESTIMACIONES DEL RENDIMIENTO

El análisis hidrológico en los trópicos sufre invariablemente por lo inadecuado de los registros de escurrimiento. En un caso típico apenas había solamente registros de pocos años aún para construcción de presas. Tienen que hacerse series y de más largo tiempo para análisis para co-

Meteorological techniques can be used under favourable circumstances, to firm up estimates of yield characteristics and of the other variables that enter equation (1) – (4). It is necessary that the resulting increase in information is both true and acceptable as such to the designers of the development. Only if both is the case, can it have a direct bearing on development costs.

The examples below are based on some personal experience. They are necessarily motley and limited, but a more systematic or exhaustive discussion would be beyond the present scope and could be of doubtful meaning.

EXAMPLES OF METEOROLOGICAL TECHNIQUES AFFECTING CONSTRUCTION COSTS.

Construction costs in the present case the relation (3) — can be reduced by intelligent scheduling with regard to seasonal or daily weather variations. In 1955 a new earth dam failed in Eastern Kenya. The contractor attributed the disaster to insufficient spillway capacity, due in turn to an underestimate of maximum catchment rainfall by an East African government agency. Superficial evidence supported this claim. There had been a heavy storm. But with a capacity of more than 35,000 cucecs for a catchment of some 40 square miles, the spillway seemed very adequate associated with the investigation and we finally found some and showed surprisingly little sign of damage. I became local witnesses who actually saw the dam fail. Apparently it was not breached at the crown, but first broke through at the bottom, remaining standing for some seconds or even minutes afterwards as an arch. This led to a study of construction and placement methods, which caused the failure too be attributed finally to dry compaction. The contractor had to cart water in order to moisten the dam fill during placement. This is a costly operation and he underestimated the effect of equatorial evaporation during the dry season.

The dam break could have been avoided either by using. An elementary meteorological calculation suggested of more water or more cheaply — by watering in the event that the evaporation rate at noon was at least 20-30 times larger than at night. In this case, simple meteorological advice could have very amply paid for itself.

In some instances, it is possible to use weather forecasts, in spite of their probability nature, to make operations more efficient. For example, in the Australian Snowy Mountains Development, hydrographic crews were sent to remote, small streams on the basis of weather forecasts. This produced rain curves for those streams more quickly than would have been the case on the basis of random sampling.

YIELD ESTIMATES

Hydrological analysis in the tropics is hampered invariably by the inadequacy of recorded stream flows. In a typical case there may be only a few years records available from a prospective damsite. The longer time series of y needed for analysis will have to be established by cor-

relacionar con sitios con más largos registros disponibles y el carácter de tal correlación podrá variar con la estación o el tipo de situación sinóptica que da origen a lluvia. En este caso será útil establecer varias regresiones "paramétricas". Pueden usarse como medio de discriminación y parámetros para las diversas regresiones las observaciones de viento, presión o precipitación en puntos distantes.

Las estimaciones de promedios de gastos también pueden ser afectadas por cambios seculares del clima local o de condiciones del almacenamiento. El medio siglo entre 1895 y 1945 tendió a ser más seco que los períodos anterior y posterior, aún en trópicos y subtrópicos. La amplitud del cambio fue mayor en los bordes de las zonas áridas y en el caso extremo de Adén alcanzó en los registros disponibles una diferencia de casi 80 por ciento entre los promedios de precipitación para los primeros 30 años de esta centuria y el período anterior. En el caso del Nilo la diferencia entre la descarga media en Asuán antes y después de 1898 sube a más de 30 por ciento o 27×10^9 metros cúbicos por año. Se han comprobado cambios simultáneos de magnitud similar en Australia, África del Sur y el oriente de América del Norte.

La precipitación depende de la circulación, por lo cual no es sorprendente que tal tipo de cambios no afecte aparentemente a la generalidad de las regiones monsonicas del Asia Sud-Oriental o del Suroeste de Estados Unidos. Sin embargo, cuando se registra como en la mayor parte de las regiones tropicales, su existencia puede tener importante efecto en nuestras estimaciones de recursos hídricos y debe considerarse en todos los casos donde las condiciones son marginales.

Si no hay certidumbre sobre promedios todavía habrá menos sobre incidencia de avenidas o sequías extremas, pues por definición las estadísticas no se prestan usualmente para estimar la probabilidad de un evento dado. Existen de manera cierta algunos límites físicos superiores para la magnitud de inundaciones y tormentas que las causan. Las técnicas meteorológicas o más bien hidro-meteorológicas se han usado para estimar tal límite. A pesar de ello, en nuestros días no tenemos habilidad para manejar cuantitativamente la física de la formación de lluvias y los fenómenos dinámicos meso-escolares para emplearlos satisfactoriamente aún en latitudes templadas. Las dificultades aumentan en los trópicos —como lo prueba el proyecto Kariba de Rhodesia, donde inundaciones de magnitud inesperada colmaron dos veces una presa en construcción en un sitio que probablemente se había estudiado tan bien como cualquier otro en los trópicos.

En su más amplio sentido el rendimiento no sólo se refiere al agua de una corriente. Por ejemplo, al planearse la irrigación de una área algodonera en el Sudán se tenía que calcular la descarga durante la breve e intensa estación de lluvias. Los costos del sistema de descarga dependían críticamente de la probabilidad de incidencia simultánea de varias tormentas convectivas sobre el área irrigada. No se disponía de observaciones o informaciones sobre tormentas con-

relations with sites that have longer records available. The character of this correlation is likely to vary with the season or the type of rain producing synoptic situation. It is useful in this case to establish several "parametric" regressions. Observations of wind, pressure or rainfall at distant points can then be used as a means of discrimination and as parameters for the different regressions.

Estimates of the average yield may also be affected by secular changes of the local climate or of the catchment conditions. The half century between about 1895 and 1945 tended to be drier than the preceding or following periods, through most of the tropics and subtropics. The amplitude of the change was largest at the fringes of the arid zone. In the extreme case of Aden, it amounts to a difference of about 80 per cent between the rainfall means for the first 30 years of this century and the preceding period of available records. In the case of the Nile, the difference in the mean discharge at Aswan before and after 1898 amounts to more than 30 per cent or 27×10^9 cubic meters per year. Simultaneous changes of similar magnitude have been documented for Australia, South Africa and eastern North America.

Rainfall depends on the circulation. It is therefore not surprising that this pattern of change apparently did not affect most of the monsoon regions of Southeast Asia or of the Southwestern United States. However, where it did occur, and that is the major part of the tropical regions, its existence can have an important bearing on our estimates of water resources and it should be considered in all cases where conditions are marginal.

If we are uncertain about means, we are even more uncertain about the incidence of extreme floods or droughts. Statistics are usually inadequate to estimate the probability of an event which is rare by definition. Some physical upper limit to the magnitudes of floods and the storms that cause them, does exist almost certainly. Meteorological or more precisely hydrometeorological techniques have been developed and are used to estimate this limit. However, our ability to deal quantitatively with the physics of rain formation and meso-scale dynamic phenomena is insufficient at the present stage to make these methods fully satisfactory even in temperature latitudes. The difficulties are compounded in the tropics — as evidenced by the Kariba project in Rhodesia where floods of unexpected magnitude, twice topped a coffer dam during construction, at a site which probably had been investigated as well as any to be found in the tropics.

Yield in its widest sense does not deal only with water in a stream. For example, the planning of a cotton irrigation area in the Sudan had to make provision for drainage during the brief but intense rainy season. The costs of the drainage system depended critically upon the probability of simultaneous occurrence of several convective storms over the irrigation area. No observational evidence or information was available on the areal extent of convective storms

vectivas o su distribución regional y no hay aún base para tales estimaciones en la teoría existente. Las técnicas meteorológicas con radar pudieron ser útiles en tal caso.

EL USO DE LA METEOROLOGIA PARA REDUCIR PERDIDAS Y AUMENTAR RENDIMIENTOS

La cantidad f en la ecuación (4') representa cierto índice de pérdida de agua adicional, es decir, una reducción del recurso disponible. Es esencial recordar ahora que la evaporación de una presa, por ejemplo, no es enteramente una pérdida por consumo, en el significado real de la palabra. Antes de ser construida se habrá perdido cierta cantidad de agua por evapo-transpiración en la localidad de la obra y ello habrá influenciado cualesquier rendimientos en ese sitio. La pérdida por consumo en este caso es igual a la evaporación en la superficie de la presa menos la evapo-transpiración en la misma área antes de cubrirla el agua. Ambas se han calculado para una apreciación satisfactoria de la pérdida por consumo f en la ecuación (4').

Puede ser posible reducir pérdidas y aumentar rendimientos por varios métodos tales como buen manejo de captación, reducción de evaporación por películas mono-moleculares y tal vez siembra de nubes. Sin embargo, en el presente estado de la técnica es claramente imposible pronosticar el cambio real en rendimiento que pueden producir tales operaciones. Siendo así no afectarán el planeamiento y por consiguiente, el costo de ese nuevo desarrollo. Entre varias posibilidades, probablemente la única que afectaría el costo de nuevos desarrollos capitales en el futuro previsible es impedir la evaporación.

PRONOSTICOS Y USO DE AGUAS

El miembro restante en la ecuación (4) fue la cantidad de agua de uso u , la cual se consideró constante al discutir el almacenaje, la disponibilidad y el rendimiento. En la práctica no constituye un problema. Supongamos que una presa va a usarse con el doble propósito de producir fuerza y controlar inundaciones. Si insistiéramos en producir fuerza y en cantidad constante de modo continuo tendríamos que construir una presa más grande y costosa para impedir derrames y daños por avenidas en los mismos períodos.

Sin embargo, con aceptables pronósticos de escurrimientos y si fuera necesario de precipitaciones, no tendríamos que construir una presa mayor. Podríamos descargar agua gradualmente antes de una tormenta —usándola tal vez con algún provecho para producir más energía. Eso dejaría espacio en la presa para el aporte de la avenida; después, la presa estaría llena otra vez para una cantidad firme de fuerza de modo continuo.

Hay dos problemas; primero, sólo podríamos construir una pequeña presa si asegurásemos la confiabilidad de los pronósticos, y después el castigo para el mal pronóstico que determinó la acción puede ser mayor que el beneficio de muchos buenos. Por ejemplo, en el caso presente, si la avenida pronosticada no llegase, habría después un déficit de

in that region and there is little foundation in the existing theory for any theoretical estimate. Radar-meteorological techniques might well have helped in such a case.

THE USE OF METEOROLOGY IN LOSS REDUCTION AND YIELD AUGMENTATION

The quantity f in equation (4') represents a rate of additional water loss, that is a reduction of the available resource. It is essential to remember in this connection, that the evaporation from a reservoir for example is not entirely a consumptive waste in the present meaning of the word. Some water will have been lost by evapo-transpiration from the location of the reservoir before the dam was built. This would have influenced any yield records at the dam site. The consumptive waste in this case is equal to the evaporation from the reservoir surface minus the evapo-transpiration from the same area before it was water covered. Both have to be estimated for a satisfactory assessment of the consumptive waste f in equation (4').

It might be possible to reduce losses and increase yields, by various methods such as catchment management, evaporation reduction by mono-molecular films and perhaps cloud seeding. At the present stage of the art, however, it is clearly not possible to predict the actual change in yield that might be produced by these operations. This being the case, they cannot affect the design and therefore the cost of new developments. Of the various possibilities, evaporation prevention is probably the only one likely to affect the capital costs of new developments in the foreseeable future.

FORECASTS AND WATER USE

The remaining item in equation (4') was the rate of water use u ; this was assumed constant in discussing storage, supply rate and yield. In practice this is not likely to be the case. Assume a dam is to be used for the double purpose of power production and flood control. If we did insist to produce power at a continuing constant rate we would have to build a bigger, more expansive dam, to prevent spilling and flood damage at same periods.

However, with reliable forecasts of streamflow and if necessary rainfall, we would not need a bigger dam. We could release water gradually before a storm — using it perhaps with some profit to produce additional energy. This would make room in the reservoir for the incoming flood. Afterwards the reservoir would be full again, for a continuing firm power supply.

There are two catches in this. Firstly, we could only dare to build a smaller dam if we could predict how reliable the forecasts are going to be. Secondly, the penalty for a bad forecast which is acted upon, can be larger than the benefit from many good ones. For example, in the present case if the predicted flood did not come, there would

agua. Cuando menos la reducción inicial puede afectar la producción de fuerza haciéndola menos eficiente por un largo intervalo. Para equilibrar ese mal pronóstico serían necesarios muchos buenos en este caso. Realmente hubiese sido tal vez más barato operar la presa por un conjunto de reglas fijas sin necesidad de pronósticos —o construir una más grande.

El argumento lleva a la misma conclusión que otro sobre aumento de rendimientos. Los pronósticos cuantitativos de precipitación son inciertos y no puede especificarse su confiabilidad. Por el hecho de estar disponibles tampoco pueden afectar el planteamiento de un proyecto o sus costos de desarrollo en los tiempos actuales.

CONCLUSION Y PERSPECTIVA

Al meteorólogo que trabaja con ingenieros hidrólogos le convienen sentido común y juicio meteorológico, pues tendrá pocas oportunidades de trabajar a niveles más altos de talento profesional. Puede ser que muchos de nuestros actuales datos de campo sean demasiado burdos para métodos más avanzados. Los estudios básicos que pueden cambiar la situación no se realizan fácilmente en el empleo, pero estaría más contento en un activo departamento universitario.

Es inútil formular programas para investigaciones originales. Sin embargo, me gustaría terminar mencionando tres objetivos a largo plazo.

- (a) La producción teórica de secuencias de tormentas y series de tiempo de escurrimientos por ecuaciones de dinámica atmosférica y con especificación matemática de parámetros climáticos o topográficos locales; entonces sería posible estudiar propiedades estadísticas sin ocuparse de las deficiencias de registro;
- (b) Cambios de turbulencia vertical en condiciones transitorias u horizontales no-uniformes; hasta que ello pueda entenderse es imposible pronosticar evaporación, por ejemplo;
- (c) Un entendimiento de los cambios del tiempo de año en año.

Ninguna de las tres cosas son objetivo de investigación inmediata y realística. Tampoco podrían recomendarse a un estudiante de doctorado para su tesis por ahora. Son objetivos distantes, pero si podemos encararlos, mejoraría nuestro entendimiento y podríamos aplicar la meteorología más intensamente a las técnicas del desarrollo.

be a water shortage later. At the very least, the reduction in head may cause power production to remain less efficient for a long interval. Many good forecasts would be needed in this case, to balance the bad one. In actual fact, it would have been probably cheaper to operate the dam by a set of fixed rules, without regard to forecasts — or to build a bigger dam.

The argument leads to the same conclusion as the one about yield augmentation. Quantitative forecasts of rainfall are uncertain; their reliability cannot be specified. The fact that they may be available can therefore not affect the design of a project or its development costs at the present stage.

CONCLUSION AND OUTLOOK

A meteorologist who associates with water engineers, may need meteorological judgment and common sense. He will have little opportunity to work on a high level of professional sophistication. It may well be that most of our present field data are too crude for more advanced methods. The basic studies which might chance the situation cannot be pursued easily "on the job", but would be more at home at an active university department.

It is futile to formulate programs for basic research. I would like to conclude however, by mentioning three likely, long term goals:

- (a) The theoretical generation of storm sequences and stream flow time series from the equations of atmospheric dynamics and from a mathematical specification of local climatic or topographic parameters; it would then be possible to study statistical properties, without regard to record shortage;
- (b) Vertical turbulent transfers in transient or horizontally non-uniform conditions; until this is understood, it is impossible to predict evaporation, for example;
- (c) An understanding of weather changes from year to year.

None of the three items are realistic, immediate research objectives. None could be recommended to a Ph. D. student for a thesis at this time. They are distant goals. If we can approach them, it would improve our understanding and would help us also to apply meteorology more intensively to technical developments.