

LOS ESTUDIOS ECOLOGICOS EN LA INGENIERIA HIDRAULICA (*)

Por MANUEL DIAZ-MARTA

La importancia creciente que se viene concediendo a los estudios ecológicos es consecuencia no sólo del mayor conocimiento que se tiene de las relaciones hombre-ambiente, sino de una cada vez más positiva toma de conciencia, por parte de todos, de los peligros que el abuso inconsciente de la Naturaleza puede traer consigo.

Y precisamente el ingeniero, por su labor de encauzamiento de las fuerzas naturales para ponerlas al servicio del hombre, es el más directamente implicado en esta cuestión, cada vez más acuciante. La corrección de cursos de agua, la defensa de costas, la creación de embalses y muchos otros aspectos de su labor, tienen una influencia decisiva en la modificación de la Naturaleza, y por ello las consideraciones ecológicas deben desempeñar un papel preponderante en el conjunto de consideraciones que comporta la elaboración de tales proyectos.

A partir de la Revolución Industrial, el hombre ha dispuesto de medios potentes para modificar la naturaleza y los ha empleado con tanto afán como habilidad. Pero no siempre ha sabido escoger las finalidades de su empleo ni prever sus consecuencias. Ciertamente que esos medios le han servido para realizar progresos de utilidad indiscutible en lo que respecta a producción de alimentos, facilidades de transporte y comunicación, aprovechamiento de la energía y provisión de toda clase de servicios y productos para el consumo. Pero cierto también que en muchos ocasiones, por torpeza o con propósito deliberado, los ha empleado para causar la ruina y la destrucción. Aún más, existe el peligro de que cegado por sus pasiones, se sirva de la ciencia y de la técnica para producir una catástrofe de magnitud incalculable.

Dejemos a un lado el examen de esta terrible posibilidad, que no es de nuestra competencia técnica, aunque como seres humanos no deje de preocuparnos, y echemos una ojeada a los daños causados por las actividades pacíficas que se emprenden para transformar la naturaleza y sacar provecho de sus recursos; actividades de cuyo éxito o fracaso el ingeniero es, en gran parte, responsable.

CONSIDERACIONES ECOLOGICAS

Erns Hackel, zoólogo alemán, estableció en 1868 que el individuo se forma como resultado de la herencia orgánica y del medio en que vive, y llamó ecología a la relación entre el individuo y el ambiente. Desde entonces, y sobre todo en este siglo,

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 31 de marzo de 1971.

el estudio de esta complejísima relación se ha desarrollado como una ciencia con métodos propios, la cual se ha diversificado en multitud de ramas.

En lo que se refiere a la ecología humana, y más concretamente a la relación del hombre con el medio físico que lo rodea, que es lo que ahora nos preocupa, las consideraciones que hoy llamamos ecológicas han estado presentes muchas veces en la mente del hombre a lo largo de su historia, pero los casos en que éste, por desidia o ignorancia, ha dañado a su medio ambiente son también muy numerosos.

Dentro del marco de la ecología, nos explicamos hoy la decadencia de las antiguas civilizaciones de Mesopotamia y Egipto como debida en gran parte al ensalitrado y empobrecimiento de las tierras en los valles del Tigris y el Éufrates y en el Nilo, sometidos a intenso cultivo de riego. Comprendemos la desaparición de las espléndidas ciudades romanas al borde del Sahara, ante el avance de las arenas del desierto, como una consecuencia del abandono de las prácticas de cultivo y conservación del terreno que mantenían condiciones favorables a la vegetación y servían para fijar el suelo arenosos. Y los sucesivos traslados de la capitalidad de los Mayas en tierras del Petén y de la península de Yucatán, así como el debilitamiento de su civilización, los atribuimos, en parte, a la erosión y agotamiento de sus tierras de cultivo, ganadas al bosque, pero de pobre calidad, que sólo por poco tiempo podían soportar la explotación agrícola.

Durante la primera etapa del paso de una sociedad agraria a una sociedad industrial, el hombre logró extraer de la naturaleza los productos que necesitaba; pero lo hizo causando grandes estragos. La roturación de enormes extensiones de terreno para cultivar cereales privó al suelo de sus defensas contra la erosión y de su fertilidad. Disminuyó asimismo su capacidad para retener el agua, agravándose, en consecuencia, los daños causados por las inundaciones. Las explotaciones intensas de los yacimientos minerales y los primeros establecimientos de la gran industria contribuyeron a sembrar la desolación y afeard el paisaje. Recientemente, la explotación y el transporte del petróleo han arruinado un buen número de playas.

Si para resolver el problema de su abastecimiento la sociedad ha cometido grandes errores, éstos no son comparables a los que ha hecho al tratar de eliminar sus desperdicios. Resulta, en efecto, inexplicable que para evacuar los desechos de las concentraciones humanas, de las minas y de las industrias, no se haya discurrido nada mejor que verterlos con gran despreocupación a ríos, lagos y mares, o lanzarlos a la atmósfera en forma de gases de combustión, con lo cual, quedan contaminados el agua y el aire, los dos elementos fundamentales para la vida humana.

Ya en los últimos tiempos, a causa del extraordinario desarrollo técnico y del aumento de población, la acción del hombre sobre la naturaleza ha alcanzado tal importancia que las grandes empresas humanas han de ser estudiadas y valoradas no sólo en función de sus objetivos primordiales, sino dando la debida consideración a sus efectos secundarios y a las alteraciones que pueden producir en el medio ambiente. La preocupación ecológica domina en las sociedades avanzadas; se manifiesta en la amplitud e intensidad de los estudios sobre estos temas y se refleja en las páginas de la prensa ordinaria y de las publicaciones científicas y técnicas, destacando entre éstas las que se ocupan de ingeniería civil. Puede decirse que hay una combinación de esfuerzos cuyo objeto es formar una conciencia ecológica entre los ciudadanos a fin de evitar imprevisiones como las pasadas.

LA PREOCUPACION ECOLOGICA ENTRE LOS INGENIEROS

Los desajustes sociales a causa de las innovaciones en los procesos de producción merecieron desde muy pronto la atención de los hombres de ciencia y del público en general. Para resolverlos se han realizado innumerables estudios, se han producido revoluciones y se han llevado a cabo reformas sociales. En cambio, los desajustes de tipo ecológico, los cuales producen también perturbaciones sociales y económicas, aunque menos notorias por ser a más largo plazo, han tardado mucho más en merecer la atención del público y de los estudiosos.

Entre los ingenieros, las primeras reacciones ante esos trastornos fueron tardías, y quizá por eso excesivas. Hacia el primer cuarto de siglo, algunos técnicos creyeron que valiéndose de su imaginación y de los poderosos medios a su alcance podrían no solamente resolver los problemas del momento sino edificar la sociedad del futuro. Otros prefirieron —y todavía prefieren algunos— concentrarse en la tarea ingenieril y desentenderse de las consecuencias ajenas a su especialidad. En general, ha predominado una posición intermedia. La conciencia del ingeniero y con ella la práctica de la profesión han evolucionado hacia una preocupación creciente por evitar los efectos perjudiciales. Puede decirse que los profesionales de la técnica estaban en un tiempo más interesados en hacer andar las máquinas que en el efecto social de su trabajo. Pero a medida que sus medios pasaban a ser más poderosos y emprendían trabajos de mayor envergadura, iban viendo la necesidad de ampliar la base de sus estudios para abarcar en ellos la previsión de todas las consecuencias.

IMPLICACIONES ECOLOGICAS DE LOS PROYECTOS HIDRAULICOS

La complejidad de las relaciones que guardan entre sí los elementos de un ecosistema y los cambios y trastornos que se producen al modificarlos, se manifiestan claramente al estudiar el proceso y las consecuencias de algunas obras de ingeniería. Nos referiremos, en lo que sigue, a los proyectos que modifican las condiciones hidráulicas naturales, cuya relación en los otros elementos en juego es muy activa y compleja.

OBRAS DE INGENIERIA EN LAS COSTAS.

Las mareas, el oleaje, las corrientes litorales, el acarreo de materiales sólidos por el agua y el viento y los efectos del clima influyen en el proceso continuo de erosión y sedimentación de las costas y determinan sus variaciones. La alteración de cualquiera de esos elementos, o la producida artificialmente en la forma de la costa, cambia las condiciones de equilibrio del litoral marítimo, el cual tiende a adaptarse a la nueva situación. La construcción de puertos y los trabajos de protección de zonas costeras suelen producir, efectivamente, sensibles variaciones en la forma y características de las franjas sumergidas y emergidas de las costas.

Un caso digno de mención es el de las alteraciones en las playas y dunas de Veracruz.

La construcción de las escolleras de abrigo de dicho puerto, emprendida durante el pasado siglo y terminada al final del mismo, originó una serie de trastornos

que sólo fueron estudiados mucho más tarde, ante el apremio de los perjuicios que ocasionaban. El antiguo puerto, del tiempo de la Colonia, no era más que un fondeadero natural protegido de los furiosos vientos del norte por los islotes y bajos de La Gallega, y de los ataques de los piratas por el Fuerte de San Juan de Ulúa, erigido en aquellos parajes. Al completarse el abrigo a que nos referimos, el fuerte de Ulúa quedó unido a la tierra firme por una escollera, la cual, con las de la bocana, confirmó un puerto seguro, protegido en todo tiempo de las marejadas.

Pero el efecto de las escolleras, como había de verse más tarde, no se limitó al abrigo del puerto. Prolongadas por los bajos de La Gallega, actuaron como un largo espigón, interrumpiendo la corriente litoral. Las arenas, en consecuencia, dejaron de alimentar las playas al sur del puerto y se acumularon en la situada al noroeste del mismo, la cual, orientada en la dirección este-oeste creció notablemente. Su exposición a los vientos "Nortes" y la gran profundidad de la playa originaron un aumento del acarreo eólico, así como un mayor depósito de arena en los médanos situados a sotavento, algunos de ellos ya vegetados. La repetición del fenómeno destruyó el sensible equilibrio de las formaciones de dunas, en el cual la vegetación, favorecida por el calor y las lluvias, protege la superficie del terreno, mientras que la acción del viento, ya sea por erosión o por acumulación de arenas que sofocan la vida de las plantas, tiende a destruir la cubierta vegetal y a convertirla en una superficie árida e inestable. El efecto indirecto de las escolleras fue, pues, la alteración del equilibrio de los médanos y su conversión en una sucesión de dunas vivas o activas, con una penetración de hasta ocho kilómetros tierra adentro en algunos lugares. Este hecho empeoró las condiciones sanitarias de Veracruz y sus alrededores, entorpeció el tráfico de la estación terminal del puerto e incluso dificultó la construcción de bloques para la coronación y protección de las escolleras que habían sido causa de tales trastornos.

Otro daño de consideración se produjo en el litoral al sur del puerto. La intercepción de la corriente de arenas que pasaba por el canal entre San Juan de Ulúa y la costa, determinó una regresión de la playa, de tal importancia que hoy se contemplan, a la altura de las rompientes y sumergidos en el mar, los estribos de un pontón del ferrocarril que antes corría cercano a la playa. Las exigencias de la urbanización hicieron que se construyera un paseo costero —medio siglo después de terminadas las escolleras— cuando aún no se había llegado a establecer un nuevo equilibrio del litoral. Después de construido el paseo, todavía hubo algunas regresiones de la playa que pusieron en peligro la estabilidad del muro de protección. Además, la verticalidad de éste —otra condición desfavorable— producía un efecto de resaca que socabada las arenas al pie del muro, por lo cual fue necesario protegerlo con escolleras para defender su base y se construyeron espigones para fijar las arenas, que corrían a lo largo. Por último, el éxito de alguno de los espigones hizo que las autoridades concibieran esperanzas infundadas. Con el fin de formar una playa en un lugar determinado, se construyó un espigón demasiado largo. La arena se depositó, en efecto, para formar esa playa, pero el espigón causó nuevos trastornos en el acarreo litoral y produjo erosión y decrecimiento de las playas a sotavento, poniendo nuevamente en peligro la estabilidad del muro.

En lo que respecta a la erosión eólica y la formación de las dunas, se encontró una solución afortunada. El ingeniero Miguel Angel de Quevedo, que había actuado por primera vez como profesional en la construcción del puerto y estaba preocupado por el acarreo eólico de las arenas, propuso e inició en 1908 la fijación de las dunas,

tomando como modelo las de las Landas francesas. Los trabajos de la duna artificial de Veracruz, consistentes en estacadas rompevientos paralelas a la costa, siembra de especies herbáceas y plantaciones de casuarinas, se realizaron y continuaron con éxito según el modelo entonces establecido, en el cual se han introducido algunas innovaciones. En cambio, la protección de las playas y del paseo al sur del puerto aún no está definitivamente resuelta.

El proceso ecológico originado con la construcción del puerto de Veracruz permite deducir consecuencias que son aplicables a otros proyectos análogos.

La primera es que las condiciones y los medios que hacen posible la construcción de grandes obras han precedido en varios decenios al estudio de las alteraciones que estas obras producen en la naturaleza.

La segunda es que la reacción a los daños causados por las obras suele ser lenta. La feliz intervención del ingeniero De Quevedo, un conservacionista y ecólogo nato, evitó muchos perjuicios. Aun así, la fijación de los médanos fue abandonada varias veces y sin su labor de apostolado no se hubiera llevado a buen término. En lo que respecta a la conservación de las playas, todavía, a pesar de los contratiempos sufridos, no se ha dado la debida atención al estudio del proceso ecológico que se inició al construir las escolleras del puerto.

La tercera es que las obras de esta clase ya no deben emprenderse como en el pasado. Las experiencias anteriores y el mayor conocimiento de algunos fenómenos naturales, tales como los de erosión y sedimentación, junto con la preocupación actual por los trastornos de tipo ecológico, obligan a estudiar los efectos laterales de los proyectos y a tomar providencias para evitar sus consecuencias dañosas.

En el caso examinado, sólo entraban en juego los agentes marítimos y atmosféricos, debiéndose la complicación del ecosistema a que las playas están formadas de materiales muy finos e inestables, lo mismo que la faja de terreno inmediata. En otros casos, en que se estudian zonas más amplias próximas a la costa, intervienen también otros factores, tales como los efectos erosivos y formativos de las corrientes fluviales, con sus grandes acarreos de materiales al mar y a los estuarios. En las zonas muy pobladas o de interés turístico o industrial, a los factores físicos naturales hay que añadir los efectos que se producen por la evacuación de desechos y aguas residuales, la recuperación de terrenos de marisma y la explotación intensa de las corrientes de agua superficiales y subterráneas. Hay que tener en cuenta, además, los problemas económicos y sociales que siempre se plantean en los lugares de rápido desarrollo.

Como ejemplo de estos casos complejos, merece citarse el de la bahía de California. El proceso de desarrollo y transformación de la costa y una extensa zona inmediata es actualmente el objeto de un estudio muy meticulado, desde el punto de vista ecológico (Schoop-Civil Engineering, mayo 1969). La superficie de la bahía se ha reducido a consecuencia del rescate de terrenos para urbanización, de 1 750 a 1 130 Km.²; y como tiene zonas poco profundas cuyo rescate es fácil relativamente y la operación de ganar terrenos al mar para seguir edificando es lucrativa, se teme que siga reduciéndose su tamaño. Tal cosa dañaría a las especies volátiles y marítimas que se alimentan en las marismas y ciénagas, y afectaría a la belleza y limpidez de la bahía, considerada como un don único de la naturaleza. El estudio recomienda que se conserven todas las zonas bajas, pantanos y lagunas, que no se consientan nuevos rellenos para colonias residenciales, industrias, tiraderos de escombros, etcé-

tera. Señala también ciertos lugares para zonas portuarias y de recreo, así como para industrias de cierto tipo que deben establecerse en las costas.

El crecimiento de la población —estimada hoy en cinco millones de habitantes— en la zona de la bahía de San Francisco y del Delta del San Joaquín y el Sacramento, ha creado graves problemas en lo que se refiere a evacuación de aguas residuales (Stann y Ringwood, Civil Engineering, junio 1969). Los caudales de estas aguas se estiman en 29 m.³/s. y se espera que lleguen a más de 44 m.³/s. en 1990. La Sierra Nevada y Las Cascadas cubrirían con holgura las necesidades de agua hasta finales de siglo; sin embargo, el aumento del consumo de los valles del Sacramento y del San Joaquín, la derivación de agua para riego de otras cuencas y el abastecimiento de la mayor parte de las poblaciones entre San Francisco y Los Angeles reducirán la aportación de agua a la bahía y la corriente dentro de ella, lo cual disminuirá su capacidad de arrastre y dilución. El aumento de la salinidad en el Delta por la intrusión de agua salada perjudicaría a los abastecimientos urbanos y de riegos que ahora toman el agua directamente de los ríos.

La consecuencia general que se saca de este estudio es que hay un gran peligro en realizar grandes proyectos de ingeniería fijando objetivos simplistas, fáciles de concebir y explicar, pero que no son la mejor respuesta a las necesidades humanas. Tras de las experiencias pasadas, se piensa ahora en una verdadera planeación, en la cual el propósito de conservar la naturaleza se acuerde con el de llevar a cabo el desarrollo conveniente y a veces inevitable.

Otro caso de estudio es el de la península de Florida, donde se plantean agudos problemas ecológicos que han resultado de las obras efectuadas en las costas y en el interior.

En esta península, que ocupa una posición ventajosa al sur de los Estados Unidos y disfruta de un clima benigno, se han realizado grandes obras para acondicionamiento y conservación de las playas, construcción de puertos y vías de comunicación, rescate y saneamiento de terrenos y conversión de sus pantanos en lagunas y canales navegables de gran atractivo como lugares de recreo, deportes náuticos y pesca. Este cúmulo de trabajos ha cambiado algunas de las condiciones naturales de la península. Al reducirse las superficies pantanosas, su efecto regulador durante la época de lluvias ha disminuido, por lo cual las inundaciones, ahora sobre zonas más valiosas, resultan más peligrosas que anteriormente. La rica y variadísima vida animal y vegetal que se sustentaba en los pantanos ha decrecido, y está amenazada de extinción ante el avance de los *bulldozers*. Las playas, pobladas de viviendas y lugares de recreo, sufren los efectos de la erosión, provocada en ocasiones por la construcción de obras para el acceso a los puertos y estuarios, o de defensa de las playas próximas.

Estos problemas pueden complicarse aún más en un inmediato futuro, porque el desarrollo que se esperaba con las obras se ha producido con creces y está originando nuevas demandas de construcciones. Por ello, y en vista de la experiencia anterior, los presentes estudios de ingeniería abarcan temas más amplios que los pasados. Tienden a proseguir y conservar las obras de desarrollo, pero también a conservar los recursos de la naturaleza y a utilizarlos de un modo más racional. Se reconoce el hecho de que esos recursos son limitados. Su empleo para una finalidad determinada, aunque responda a objetivos económicos indiscutibles, reduce su disponibilidad para otros destinos que pueden ser igualmente útiles, o quizá imprescindibles después de algún tiempo.

Los estudios sobre los famosos Everglades, una zona pantanosa de gran belleza al sur de Florida (Stephens, junio 1969), y los que se han llevado a cabo para aprovechamiento hidráulico múltiple y conservación de la naturaleza en las cuencas de cuatro ríos que afluyen a la bahía de Tampa (Eden, septiembre 1966), pueden citarse como casos típicos de proyectos de ingeniería en que las consideraciones ecológicas ocupan el lugar preferente. Son también de interés los trabajos para corregir la erosión de las playas junto a las entradas al puerto de Palm Beach y al South Lake en la costa atlántica. En ambos casos se ha recurrido a bombear las arenas que la corriente litoral deposita al norte de las escolleras para verterlas, por medio de una tubería, en las playas situadas al sur de las mismas, donde la alimentación por la corriente litoral se había debilitado o anulado prácticamente. Se tiende a restablecer con este sistema las condiciones naturales de equilibrio de las playas por medio de un "puente" por donde pasan las arenas cuya corriente quedó interrumpida por las escolleras.

EFFECTOS DE LOS GRANDES EMBALSES

La construcción de grandes embalses suele acarrear trastornos de consideración en el ecosistema con el cual el agua se relaciona. Unos cuantos ejemplos bastarán para mostrar cuan importantes pueden ser tales perjuicios.

La construcción de la gran presa de Assuán es la realización de un antiguo sueño de los egipcios: aprovechar al máximo las aguas del Nilo en los regadíos de su valle inferior. Pero ese sueño puede convertirse en una pesadilla para la zona costera del Delta del Nilo.

Parece comprobado que el lento crecimiento de la costa deltaica, del cual hay pruebas históricas, se ha detenido desde el principio del siglo a causa de la construcción de la presa baja de Assuán, al retener ésta una buena parte de los sedimentos que el gran río descargaba en el Mediterráneo. Incluso se han registrado en los últimos tiempos regresiones de la costa, principalmente en las desembocaduras de los brazos Rosseta y Damietta del Nilo y en las playas de Ras-El-Bar, asiento del balneario más concurrido de Egipto. Con la entrada en funcionamiento de la nueva y más alta presa de Assuán, se teme que el aporte de material sólido al mar y la alimentación de las playas se reduzcan todavía más, y que el aumento consiguiente de la erosión ponga en peligro la conservación de poblados, instalaciones marítimas y balnearios. Se teme también que la erosión perfora las restingas de los lagos Burullus y Manzala y destruya el equilibrio natural de estas albuferas, el cual es fundamental para el mantenimiento de su riqueza en pesca y para la evacuación de las aguas de riego del Delta.

La conservación de la costa en su estado actual no parece imposible aplicando los conocimientos técnicos y los medios de hoy día. Pero es probable que los estudios, ya iniciados, muestren la necesidad de realizar costosas obras de protección, tal vez comparables a las que se precisan en otras costas, como las de Holanda, amenazadas por la invasión del mar.

Con diversos propósitos, principalmente industriales, se han construido y se siguen construyendo superembalses en el continente africano. Lo frecuente es que su estudio no vaya acompañado del de las alteraciones que pueden ocasionar y los

contratiempos derivados de ellas. El de mayores dimensiones, no sólo de ese continente, sino del mundo, es el formado por la presa de Akosombo, en Ghana, que almacena 150 000 millones de metros cúbicos con una altura de sólo 72 metros sobre el nivel del río Volta. El embalse, que cubre una superficie de 8 500 kilómetros cuadrados, ha inundado las viviendas y campos de cultivo de unas 80 000 personas, a más de terrenos de pastoreo y extensísimos bosques. Su cola llega a 400 kilómetros de la presa a lo largo del río Volta y a distancias algo menores sobre los principales afluentes, por lo cual, en una buena parte, las comunicaciones terrestres del país han quedado interrumpidas. El embalse es capaz de almacenar varios miles de millones de metros cúbicos entre niveles próximos a la coronación que difieren sólo en un metro, los cuales pueden ser afectados por la acción del viento. Todo esto hace que su operación para regular las crecidas sea muy delicada si se pretende aprovechar su potencial hidroeléctrico al máximo y, al mismo tiempo, evitar todo riesgo.

Entre los resultados positivos de la obra hay que señalar que ha servido para abastecer de agua a Accra, la capital, y para establecer, a 30 kilómetros de la misma, la ciudad industrial de Tena, entre cuyas instalaciones, además de un puerto, destaca una gran factoría de aluminio. Esta última, prevista para una capacidad anual de 135 000 toneladas, ha sido el objetivo inicial y decisivo en el proyecto de embalse. Las instalaciones hidroeléctricas de la presa, cuando estén totalmente terminadas, producirán alrededor de 850 000 kilowatios, con los que se espera abastecer por mucho tiempo las necesidades de Accra y Tena y exportar energía a los países vecinos Togo y Dahomey.

Actualmente se estudia cómo aprovechar el gran lago para crear riquezas que compensen las que han desaparecido bajo las aguas. Se pretende desarrollar la pesca y regar por bombeo algunas llanuras marginales. Esto último se facilita por la poca oscilación del nivel de las aguas. La navegación del lago, que puede sustituir con ventaja a las ya desaparecidas comunicaciones terrestres, también es objeto de estudio. Sin él y sin un balizamiento preciso, no será fácil establecerlas, ya que la prisa en llenar el embalse para explotarlo cuanto antes, impidió talar los bosques de altos árboles, los cuales constituyen un peligro para la navegación. Como suele suceder en estas empresas, los estudios que no tienen un interés económico tan concreto e inmediato como el de producir aluminio y no son tan atractivos financieramente, siguen con retraso notorio a los de ingeniería imprescindibles para realizar la obra.

En otros embalses de menores dimensiones, las alteraciones de la naturaleza, aunque no sean de la misma cuantía, deben considerarse en un estudio ecológico. Con embalses de capacidad mucho más pequeña que la que tienen los de Assuán, pueden también ocurrir erosiones del tipo de las del delta del Nilo, sobre todo si las presas están cerca de la desembocadura. Tal es el caso del delta del Ebro, en el cual parece que se ha iniciado la regresión en algunos sectores de la costa, como consecuencia del funcionamiento de los embalses de Mequinenza y Flix en el tramo bajo de dicho río.

En muchos ríos se han observado mutaciones en los cauces aguas abajo de los embalses. La decantación en el vaso de parte del material sólido acarreado por el río y el cambio de su régimen hidráulico alteran el proceso de sedimentación y erosión del cauce aguas abajo de la presa. La menor frecuencia de avenidas ordi-

narias suele producir la atrofia del canal natural por el cual desaguan. Si además de la regulación y retención del sedimento, hay una merma importante del volumen de agua transportado, ya sea por el uso consuntivo en riegos y abastecimientos o por el transvase a otras cuencas, la atrofia del cauce puede tener efectos graves. Las inundaciones, aunque más raras y en algunas ocasiones menos intensas que antes, pueden ser catastróficas. Esto se debe a la disminución de la capacidad de evacuación del cauce y a que los ribereños, confiados en la menor frecuencia de las crecidas, acercan sus cultivos y viviendas a las márgenes bajas del río. Tal fenómeno de atrofia se ha producido en el río Bravo, entre México y los Estados Unidos, y es común en los ríos de la vertiente mediterránea de España.

En algunos ríos, el cauce ordinario se profundiza como consecuencia de la disminución del caudal sólido, retenido por el embalse o los embalses, y del aumento de los caudales de aguas bajas. Esto ocurrió en el Colorado después de la construcción de la presa Boulder. Recientemente, estos efectos se han utilizado en el proyecto del río Arkansas para aminorar las obras de encauzamiento y dragado que son necesarias para convertirlo en una vía navegable.

DEFINICION DE OBJETIVOS EN LOS PROYECTOS HIDRAULICOS

Algunos ingenieros sostienen que es conveniente que el proyecto de una obra hidráulica se elabore con un fin único o, al menos, predominante. Creen que así se simplifica el estudio y que la obra resulta más provechosa y de explotación más fácil.

Hay que reconocer que si se aceptan premisas económicas muy simples, los resultados de un embalse con una sola finalidad, siempre que se escoja la más productiva, parecen más prometedores que si se aprovecha para usos diversos. Pero la realidad no suele amoldarse a estos esquemas tan sencillos. El uso del agua es siempre múltiple y su distribución entre las diferentes funciones a que debe destinarse y entre las zonas o regiones a que puede beneficiar debe ser objeto de muchas investigaciones y consultas y de una planeación cuidadosa.

Esta planeación se requiere, sobre todo, porque el agua es un elemento, cuya demanda crece más que proporcionalmente con el desarrollo y el único recurso natural que en verdad empieza a escasear en el mundo. No basta con fijar un criterio preferente, por ejemplo, su empleo en el riego o en la producción de energía. Tampoco se debe planear una redistribución geográfica con idea de equilibrar su suministro. Dentro de un país, el equilibrio que ha de merecer atención preferente es el equilibrio económico entre sus regiones y comarcas y hasta donde sea posible entre sus habitantes y toda redistribución de recursos naturales y económicos debe tender a lograrlo.

Los objetivos de las obras hidráulicas deben, pues, establecerse considerando un gran número de aspectos. Es de notar que el enfoque de los estudios es y debe ser distinto, según el grado de desarrollo del país.

Cuando una nación se esfuerza en salir del estado de subdesarrollo es natural que proyecte sus obras con un propósito predominante, de alta efectividad e inmediatos resultados, tal como la producción de energía hidroeléctrica a bajo pre-

cio, lo que le valdrá para transformar sus productos naturales o el riego de las tierras que le servirá para cubrir sus necesidades de alimentos y dar trabajo a la población. Después de todo, el desarrollo en las primeras etapas es siempre desequilibrado. Pero a medida que la población se hace más densa y que la producción agrícola va logrando satisfacer la demanda del país, la preferencia en el uso del agua puede pasar a otros sectores.

Se ha comprobado, efectivamente, que el aumento de la producción agrícola, por sí solo, no influye demasiado en la elevación del nivel de vida, ni siquiera en los países de economía fundamentalmente agraria. Si se doblara la producción agrícola de Iraq, incluso sin aumento del gasto no reproductivo, el ingreso anual por persona se elevaría solamente de 190 a 220 dólares. Y el efecto económico de la presa de Assuán y de otros grandes proyectos egipcios significaría, en el mejor de los casos, un incremento anual de ese ingreso que no excedería de 130 dólares. Estas cifras muestran que el empleo del agua para usos no agrícolas debe tenerse en cuenta en todos los casos.

En los países que marchan a la cabeza del desarrollo económico se estudia y discute hoy en forma prolija el empleo que ha de darse al agua. Así, en los nuevos proyectos del río Colorado, se considera que los usuarios industriales y urbanos pueden pagar un precio de 0,42 dólares por metro cúbico de agua, mientras que los regantes sólo llegarán a pagar un octavo de ese precio. También se estima que el aumento de producción por cada millar de metros cúbicos empleados en el riego de las tierras oscila entre 12 y 18 dólares, mientras que para el mismo consumo, el aumento de producción de las explotaciones mineras y fabriles se evalúa entre 1.700 y 82.000 dólares. Naturalmente, estas últimas requieren mayores inversiones y gastos anuales que los cultivos de regadío. Las decisiones finales sobre el destino del agua, en las cuales la agricultura resulta beneficiada, se basan en consideraciones que no son meramente económicas.

Además de la necesidad y conveniencia del empleo del agua en determinados usos hay que tener en cuenta en los proyectos de obras hidráulicas los efectos colaterales o secundarios que dichas obras pueden ocasionar. La experiencia nos indica que la preocupación ecológica es función del adelanto de los países. Las consideraciones que versan sobre posibles perjuicios en el futuro pesan muy poco en un país si éste es eminentemente pobre. El tiempo de pensar en la sobreexplotación de los recursos no les ha llegado todavía. La preocupación dominante es mejorar de inmediato el nivel de vida, y esta empresa reviste tales dificultades que es forzoso seguir el camino más fácil sin pensar demasiado en sus inconvenientes.

Lo contrario, como hemos visto, sucede en los países más avanzados. En ellos, la sobreexplotación de los recursos naturales ha causado ya muchos daños. De ahí la atención preponderante que se concede a los estudios ecológicos en todas las obras de ingeniería hidráulica.

El problema es más delicado y requiere más tacto para resolverlo en los países de desarrollo intermedio. Tras de iniciar el despegue están entrando, en lo que respecta a dificultades no previstas debidas a su actividad constructiva, en una etapa análoga a la que recorrieron años ha los países más adelantados. Tal sucede en grandes zonas de España, Méjico, Argentina, Polonia, en los Estados más poblados del Brasil y en otras regiones del mundo que se están desarrollando en alto gra-

do. Su capacidad para alterar la naturaleza en los últimos años ha llegado a ser muy importante y ya no puede considerarse como inofensiva. En cambio, su preocupación por los efectos perjudiciales de las alteraciones que pueden producir y producen no ha crecido en forma paralela.

También en los países de mayor desarrollo hubo un gran retardo o desfasamiento entre el comienzo de sus modificaciones de la naturaleza en escala apreciable y la época en que empezaron a estudiar los daños que habían estado produciendo y los remedios que debían aplicar. Y este retardo ha causado algunos perjuicios irreparables. Los países que les siguen en el avance técnico deben, pues, aprender de estas experiencias ajenas y aplicarse sin demora a despertar el interés por los estudios ecológicos y a incorporarlos en los proyectos de ingeniería, sobre todo en los hidráulicos, si no quieren cometer los mismos yerros que sus predecesores.