

EL PROYECTO DEL PARANA MEDIO Y SU INCIDENCIA SOBRE LA  
ECOLOGIA REGIONAL\*

*Ramón Margalef*  
Universitat de Barcelona  
Facultat de Biologia  
Departament d'Ecologia  
Diagonal 645 - Barcelona 28  
España

RESUMEN

Estos comentarios se han mantenido en un nivel muy general, para constituir un marco especialmente relacionado con la política y la filosofía científica, dentro del cual podrían encontrar su lugar adecuado detalles más técnicos. El proyecto de construir diques en el Paraná medio y bajo probablemente no se puede parar y quizá la máxima pretensión es conseguir que ciertos aspectos se mediten más y se eviten las consecuencias graves que pudiera tener cualquier decisión precipitada. No se puede decir que la preparación de evaluaciones de impacto ecológico sea mala, pero sería mejor seguir las consecuencias de modificaciones ya realizadas o que probablemente son imparables por muchas razones no científicas, como la obra que contemplamos. Por esta razón debemos aprovechar al máximo las experiencias obtenidas en obras semejantes de otros países, principalmente en el continente africano.

Es posible que la construcción de embalses no tenga una incidencia tan negativa sobre los sistemas continentales como otras modificaciones impuestas por el hombre. En particular, el retardar el flujo y regularizarlo se podrían considerar como tendencias manifiestas también en muchos sistemas naturales. En el Paraná los embalses no serán muy profundos y el flujo sería muy importante, lo que requiere máquinas muy grandes, que es otra parte del problema. Vale la pena pensar que la producción primaria del vaso, para no hablar de otras energías, va a ser superior a la energía hidroeléctrica conseguida. Se impone casi naturalmente un manejo mixto de los embalses, sin descuidar la vegetación flotante.

---

\* El presente estudio, realizado por invitación de la Gerencia Proyecto Paraná Medio - Sector Ecología, Salud y Desarrollo - de *Agua y Energía Eléctrica Sociedad del Estado*, se terminó de redactar el 15 de febrero de 1981.

te -que podría constituir un gran problema- ni la pesca, que hay que considerar como cursos positivos.

Se recomienda constituir varias reservas naturales extensas, junto con otros menores en las orillas. La principales serían la región de Iberá, la de los Saladillos y, más abajo, en el delta del Paraná. Proteger las áreas más o menos salobres de los Saladillos podría facilitar la conservación de poblaciones de peces y retardar el desarrollo agrícola de la zona, que ahora presentaría muchos problemas. El delta sería lugar adecuado para una acuicultura racional. La protección proporcionada por estas y otras reservas no solo se relaciona con la erosión, más también puede evitar una colonización demasiado rápido de las orillas del embalse, antes de que se hayan apreciado en toda su extensión posibles problemas sanitarios

Es triste que los ríos grandes, bordeados de lagunas temporales y madrejones, que han sido escenario de una evolución fantástica, especialmente en Sudamérica, vayan desapareciendo sin haber sido estudiados de manera apropiada. Sería oportuno emprender un proyecto, que probablemente debería tener un carácter internacional, para un estudio intensivo, centrado en considerarlos como laboratorios muy activos de la evolución. Muchos otros problemas de limnología teórica y aplicada merecerían también un esfuerzo investigador comparable. Uno de sus frutos podría ser revitalizar la ciencia nacional y promover la educación naturalística de las nuevas generaciones, el elemento más importante en toda política de conservación.

## ABSTRACT

### **The project Parana medio and its foresable impact on regional ecosystems**

This important project will probably go ahead, anyway, but it would be probably wise to think twice about some of its foresable consequences, in relation with the management of the neighboring areas and of the impounded water. These comments are kept at a rather broad or general level, that should lead to a frame in which more technical details have to be placed. The usual procedure of estimating consequences of environmental impacts is not altogether bad, but it would be better to resolve to gather carefully information about consequences of changes that, as the one contemplated here, are practically unstoppable for different reasons. This project provides an unique opportunity to influence spatial of future human settlements in a reasonable way, and to provide a justification for scientific and technical developments leading to a more harmonious integration between landscape and draining systems.

As the problems are complex and of large scale, rather than extrapolation or wild guesses, we should rely on a careful examination of past and comparable ventures, mostly in Africa. Impounding rivers may be thought as a relatively unobjectionable change, since it slows and regularizes flow of water, a trend that many ecologists would regard as rather progressive or stabilizing. The projected impoundments would be rather shallow. Low head and large flow of water requires very large machines. A sobering thought is that primary production of the inundated basin, not to speak of other energies, will be higher than the extracted hydroelectric power. A mixed management would be advisable, trying to get the most from floating vegetation and from fisheries. The example of African dams may point at some problems lying ahead. The setting of number of large terrestrial reserves is recommended: the area of Iberá marshes, the saline Western area of the Saladillo, that could help in the conservation of fish populations, and the delta of the Paraná, where conservation could be associated in some degree with aquaculture. Besides its specific functions as nature reserves, Iberá, Saladillos and minor stretches of land could help prevent erosion and silting, and also might be valuable in limiting human settlements until the risk of sanitary hazards has been assessed or controlled.

It is sad that rivers flanked by oxbows and temporary laggons are disappearing fast. They have played an important role in evolution, specially in South America. They are true laboratories of evolution and it would be fit to promote new international research on such environments. It would be a pity not to use this excuse for a really new approach in evolutionary limnology and it is necessary to work with speed. Other limnological aspects are also important. Theory of rivers is poor, and the theory appropriated to large rivers is almost inexistent. Probably some large scale approach, involving intensive sampling and the use of remote sensors would yield important and useful information.

The practical questions involve sanitary problems, sedimentation, growth and use of pleutonic communities, and fisheries. This could provide also an impetus for research, and the fallout of a better nature education for the younger generation, the best asset for any reasonable project of conservation.

### **Consideraciones previas**

La mayor parte de este informe consiste en comentarios de tipo muy general que apenas pueden tener mayor pretensión que ofrecer un memorandum de aspectos que puede ser prudente no olvidar antes de tomar determinadas decisiones, o de llevar a la práctica decisiones que ya se hayan tomado. Por esta misma naturaleza tienen un carácter más de ciencia general o, si se quiere, filosófico, que estrictamente ecológico, aunque sirven de introducción a una serie de temas más propiamente ecológicos y que, por tanto, caen más dentro de las competencias del autor de estas líneas. Pero en mi opinión, estudios, propuestas y decisiones de carácter ecológico son totalmente inoperantes si no se sitúan dentro de una concepción general mucho más amplia. También por esta razón exis-

ten múltiples conexiones y superposiciones entre los apartados en que se ordena esta exposición.

La obra que contemplamos es importante, seguramente imparable, duplica las disponibilidades de energía del país, y por esto mismo tiene que ver con el futuro.

Encuentro perfectamente aceptable como punto de partida el lema "argentinos que trabajan hoy para los argentinos del mañana", que puede servir para enmarcar el tema dentro de una escala nacional. Las decisiones a tomar y los estudios a realizar han de estar en relación con el ideal o proyecto de futuro que se contemple, principalmente en relación con la densidad y la distribución geográfica de la población humana. A su vez, ésta es una oportunidad única para influir de manera importante sobre la organización territorial del futuro. Finalmente, en mi opinión, esta obra debería servir no solo para promover el bienestar material, más también para propiciar un desarrollo científico y técnico, sin el cual el control del futuro se nos escapa totalmente y pasa a otros países.

Las alternativas más importantes en nuestro contexto, dentro de lo que se ha llamado proyecto de futuro, conciernen a la población y a la organización del territorio.

En relación con la población hay que preguntarse si se considera deseable la estabilización de su número en un nivel próximo al actual, o se ven con buenos ojos su aumento, por crecimiento vegetativo o por inmigración. En relación con el territorio debe resolverse si se considera preferible una distribución más uniforme y descentralizada de la población, o bien se estima que es inevitable o deseable continuar favoreciendo, directa o indirectamente, las conurbaciones muy grandes, única o múltiples. Es indudable que la disponibilidad de más energía favorece el desarrollo de grandes aglomeraciones, pero también lo es que estas grandes aglomeraciones consumen más energía externa por unidad de superficie, sin aumentar la calidad de vida de los ciudadanos. La recíproca también es cierta, cualquier limitación futura de la energía ha de conducir primero a la degradación de las estructuras mayores. La mejor preparación para un mundo futuro en el que la energía disponible no puede crecer de manera ilimitada es conseguir una distribución de la población humana más laxa o menos concentrada en puntos singulares.

A su vez, la disponibilidad súbita de mucha más energía ha de hacer pensar en anticipar y evitar el costo social que representa la distribución muy desigual de la nueva energía disponible según las áreas y los estratos de la nación (nota 1, pág. 43).

Esta consideraciones tienen un interés ecológico más directo en relación con la posibilidad de asociar a los embalses áreas de reserva, no al estilo de los parques y reservas de Europa, que conservan retazos muy pequeños de naturaleza poco modificada, a modo de museo, sino según el modelo, que pocos países pueden permitirse, de conservar territorios extensos que, en su caso, serán objeto de desarrollo futuro, pero dejando tal opción a generaciones futuras, a las que no se hipotecan todas las posibilidades. Estas áreas, aparte de su valor en la conservación de segmentos de la actual biósfera, pueden mantener baja la población de ciertas áreas, prevén futuros proyectos que pueden necesitar el agua de los embalses -plantas nucleares, por ejemplo-, y pueden ejercer un efecto tampón o amortiguador sobre consecuencias que todavía ignoramos de la construcción de los embalses,

que aconsejan prudencia, como puede ser la expansión de ciertas enfermedades o de sus vectores.

### **Previsibilidad del impacto sobre la naturaleza.**

En mi opinión la importancia que se dá a las evaluaciones o anticipaciones de impacto ambiental es excesiva. El exámen a posteriori de muchas de ellas muestra que lo que se predijo apenas tenía interés y que lo que realmente importa difícilmente se anticipa. Por lo demás, dichas evaluaciones del impacto ambiental de las grandes obras se suelen archivar y olvidar una vez cumplida su misión de aquietar algunas conciencias o cumplir un formalismo de rutina.

Sería preferible sustituir las evaluaciones anticipadas de impacto ambiental, especialmente cuando ocurre como en este caso, en que son imposibles ante la grandiosidad de la transformación contemplada, por el compromiso de dedicar cierta fracción total de las inversiones, o de los rendimientos obtenidos, a seguir con un detalle suficiente las consecuencias de la transformación.

Económicamente tal proceder sería comparable a lo que se practica con las construcciones públicas de ciertos países que destinan, por ley, un determinado tanto por ciento del presupuesto de pago de complementos creativos o artísticos.

Por otra parte, es fácil para el ecólogo excusarse ante la inmensidad y complicación de los mecanismos de la biosfera; pero esta excusa debe presentarse en términos más operativos. Se pueden introducir coeficientes de seguridad importantes en la construcción de un puente o de un edificio; pero, por lo que sabemos, el funcionamiento de los ecosistemas no admite coeficientes de seguridad tan grandes; más bien diría que los ecosistemas funcionan con coeficientes que se parecen más a los de sistemas técnicos que operan cerca de los límites, como centrales nucleares, satélites y grandes aviones. Sin embargo, la tecnología que se aplica al tratamiento de los problemas ecológicos dista de ser avanzada, por falta de conocimientos o, más frecuentemente además, por una economía mal entendida y falta de decisión. Todos estos comentarios intentan poner de relieve que, las más veces, los estudios ecológicos se hacen solamente para cubrir un expediente, hacen algo de propaganda y formulan algunas propuestas cosméticas y, como poca contribución positiva, piden cuidado, prudencia y vigilancia. Creo que es posible hacer más y que se debe hacer más.

En el mundo actual, sería ilusorio cuestionar la necesidad de los embalses del Paraná o elevar objeciones muy serias a su construcción, aunque quizá sería conveniente hacer de abogado del diablo. La construcción de embalses representa una manera relativamente suave de incidir sobre la naturaleza, porque se conforma a la tendencia general de retardar y regularizar los flujos naturales.

En este caso, la poca altura de las presas y elevada tasa de renovación del agua en los embalses son ventajas suplementarias. Los cambios de nivel previstos son pequeños, probablemente inferiores a 2 metros, y la evacuación profunda elimina muchos problemas asociados a la diferenciación y al estancamiento de un hipolimnion anóxico. El área que

ocupará el embalse es prácticamente la misma del lecho del río, inundando y unificando solamente los meandros y lagunas marginales; sin embargo, semejante transformación implica la desaparición de un ecosistema absolutamente peculiar. El último término, siempre es posible inutilizar o dinamitar una represa, si las consecuencias de su construcción son tan desastrosas. En resumen, la construcción de embalses puede ser, desde el punto de vista ecológico, una de las intervenciones más benignas del hombre sobre la naturaleza. En este caso se puede añadir que represar el Paraná obliga a la relocalización de muchas personas, lo que se relaciona también con la inestabilidad esencial del lecho del río.

El desnivel previsto en las presas es pequeño y esta calidad relativamente baja de la energía obliga a utilizar una máquina grande o múltiple, lo que no es inconveniente, porque si bien resulta más cara, permite una mayor flexibilidad de empleo. Sin embargo, la verdad es que la energía hidroeléctrica prevista es del mismo orden que la energía de la producción primaria en el lecho del río (nota 2), y esta energía de la biomasa se puede considerar de superior calidad que la energía hidroeléctrica. No hace falta desarrollar mucho más este argumento para llegar a la conclusión de que conviene obtener el mayor rendimiento posible de la capacidad de producción biológica de los futuros embalses.

Esto conduce a pensar desde ahora en el uso polivalente de los embalses, en la producción de energía hidroeléctrica, refrigeración de futuras centrales térmicas o nucleares, producción de biomasa vegetal y animal, riego, abastecimiento de agua para usos industriales y domésticos, y, después de un período prudencial, recreo y turismo. Mirando hacia un futuro bastante lejano, casi en el dominio de la ficción científica, se puede añadir que la energía de mezcla (osmótica) y dilución del agua del río en el agua de mar, en la desembocadura, sería muchas veces superior a la que se podría obtener por gravedad en cualquier otra represa que se pensara construir en el curso bajo del Paraná (nota 3).

Dentro de la línea de anticipar cambios consecuentes a la construcción de las presas, creo que los más positivos sería documentarse sobre el resultado de experiencias comparables, como son los grandes embalses africanos, sobre los que se han publicado muchos artículos y libros (nota 5). En general no proporcionan información suficiente, aunque dibujan un panorama más bien desalentador, tanto en lo que se refiere a la propagación de enfermedades, como a no haberse cumplido las esperanzas puestas en la explotación pesquera, dos aspectos de particular interés en el caso del Paraná. Recomendaría encarecidamente la obtención de más datos concretos sobre lo que ha ocurrido en los embalses del Kariba, Volta, Zaire, Nilo, etc., y aplicar en lo que vale esta experiencia ajena al caso del Paraná, así como examinar críticamente hasta que punto se han cumplido las previsiones formuladas en los diversos casos, cuando se hicieron, como prueba de la confianza que merecen las evaluaciones y previsiones anticipadas.

#### **Propuesta de reservas naturales.**

El desarrollo hidroeléctrico del Paraná es un plan de importancia nacional, que ha de integrarse dentro de un plan general de organización territorial.

Parece oportuno fijar desde ahora algunas directrices generales y la que más se relaciona con la ecología y la protección de la naturaleza es el establecimiento de reservas extensas, en áreas próximas a los embalses, en función de la propiedad y uso actual de las tierras, distribución de la población humana y representatividad de los ecosistemas naturales que se conservarían en dichas áreas. El establecimiento y manejo de tales reservas se combina con una apropiada localización de nuevos asentamientos humanos y con la misión de defensa de los futuros embalses contra la contaminación y su prudente y relativo aislamiento en los primeros tiempos, hasta que se conozca su verdadera incidencia sobre las condiciones de vida generales.

No se hará distinción conceptual ni legal entre parques, reservas, u otras denominaciones que pueden adoptarse como convenientes. Tampoco respecto al *status* legal de las reservas, que variará según las leyes de cada país, si bien actualmente existe la tendencia de fijar y unificar ciertas condiciones mínimas generales.

Las diferencias fundamentales entre unos y otros países dependen de la historia y del desarrollo. En los países muy poblados, como la mayor parte de los europeos, cuando se despertó el interés por la protección de algunos espacios naturales, la mayor parte de la extensión del país ya había sido distribuida y estaba siendo utilizada. Sólo quedaban en un estado parecido al original algunas tierras marginales que se habían considerado como inhóspitas y de bajo valor agrícola. Esto explica que la mayor parte de parques y reservas se sitúen en la alta montaña, o en marismas. Pocas personas han propuesto, y desde luego, sin éxito, abandonar los fértiles valles del curso medio de un río, para ver como evolucionaba su vegetación y si se podían reconstruir las climas desaparecidas. A las áreas indicadas se podían añadir grandes latifundios, cotos de caza o terrenos destinados a ejercicios militares.

Otro concepto de reserva aparece en Norteamérica, el explorar un país que aparece como inmensamente grande y decidir no explotarlo de manera totalmente caótica, sino dejar ciertas extensiones como reserva que podría ser utilizada o no en el futuro, según las necesidades del desarrollo de la nación. El resto del continente americano estaba en la misma situación, así como áreas de África y Australia. Los países de tradición anglosajona siguieron la pauta norteamericana, declarando como reservas áreas generalmente muy extensas. En los países de influencia hispana, con una indiferencia mucho mayor hacia los valores naturales, nunca se formuló claramente una política comparable, aunque se establecieron algunos parques, generalmente dentro de una legislación poco definida o poco adecuada.

En estos últimos años, algunos proyectos internacionales como el Programa Biológico Internacional, y después el programa *Man and Biosphere*, han contribuido a cierto cambio de actitud que creo que se puede resumir en los siguientes términos. El concepto antiguo de parque o reserva era más próximo al de museo, conservar una parte de la naturaleza poco afectada todavía por el hombre en un estado parecido al primitivo. Este concepto actual valorizado por los programas mencionados, tiende más a ver la reserva como laboratorio, es decir como ejemplo de los mecanismos activos en el mantenimiento y continua regeneración de la biosfera. Esto exige que la reserva tenga una dimensiones mínimas

mas para comprender todas las piezas del mecanismo ecológico operante y presente condiciones apropiadas para su estudio y exámen. Hay ecosistemas que ciclan verticalmente, como es el bosque en terreno llano, y en estos casos las reservas pueden ser limitadas; otros ecosistemas consisten en elemento separados conectados y relacionados por un transporte horizontal. Este tipo de sistema, al que pertenece el río y las lagunas asociadas a los cursos de agua, requiere una mayor extensión para que sobre ella se pueda considerar como unidades ecológicas completas, inteligibles y modelables. Evidentemente, el área mínima de una reserva, desde el punto de vista científico, ha de guardar relación con el objetivo escogido. Cuando la reserva tiene la función de conservar parte del territorio para un desarrollo futuro, el problema de área mínima generalmente no se plantea, pues es excedida con creces.

Las reservas, especialmente si su objetivo es mostrar segmentos de la naturaleza original, y permitir su estudio, han de extender este valor de instrucción a todos los ciudadanos, a la vez que proporcionarles un área de esparcimiento hasta el punto que este sea compatible con las funciones de la reserva. Esta función requiere una planificación cuidadosa, con facilidades de acceso, pero con rutas que muestren los aspectos más interesantes, sin adentrarse demasiado en la reserva para no favorecer la aglomeración de gente en lugares donde podría comprometer la función básica de la reserva. Por supuesto hay que proporcionar los servicios adecuados; lugares de acampada, áreas para deportes, refugios que, a la vez, ofrezcan comodidades a los visitantes y protejan la naturaleza. A esto se añaden los elementos educativos, en forma de folletos, descripción de senderos naturales, etc., asequibles a la entrada del parque, e incluso algún pequeño museo local, o por lo menos, referencia a museos de ciudades próximas. Conviene añadir las recomendaciones o prohibiciones expresas en relación con especies de plantas y animales que requieran especial protección, aunque la experiencia enseña que es mejor ser parco en relación con este extremo.

Ordinariamente la reserva, especialmente si es pequeña, requerirá una zona periférica de "media-reserva", donde ciertas formas de explotación de la naturaleza están prohibidas. Esta protección ha de estudiarse especialmente en relación con el drenaje, para proteger especialmente los cauces que pudieran introducir contaminación en el área especialmente protegida.

Las reservas tienen, como se ha indicado, diversas funciones, pero a ellas pueden añadirse aún otras, indirectas, y con sentido frecuentemente utilitario, como son, por ejemplo, protección de áreas de cría de ciertas especies que migran y luego son explotadas en otros parajes, protección de las cuencas de embalses, especialmente cuando el agua de estos se dedica al aprovisionamiento de ciudades o a usos industriales, evitar la erosión de ciertas regiones, etc. En el caso del valle del Paraná Medio, hay que pensar en reservas para la recepción de los animales que escapan del vaso cuando empiece a embalsarse agua. Generalmente una reserva, especialmente si es extensa ha de cumplir múltiples funciones y conviene una planificación cuidadosa. Pero es evidente que las decisiones pueden ser lentas y complicadas, por ejemplo, en relación con la propiedad del suelo, posibilidades

de rescatarlo, etc. Probablemente abordar este problema y preparar un buen proyecto de reserva es uno de los mejores ejercicios que puede hacer una Universidad, que tendrá luego un verdadero laboratorio vivo en el que desarrollar sus actividades didácticas y de investigación.

Sin perjuicio de establecer otras reservas menores en la vecindad de los embalses, desde un punto de vista ecológico creo que deberían tener prioridad tres áreas muy extensas, con la localización y objetivos que se indican brevemente a continuación. Puede facilitar su aceptación el considerar que se trata de áreas pobres u oligotróficas, como Iberá, o bien extensiones con aguas y suelos más o menos salinos, como los Saladillos.

1) *Reserva de Iberá*, que es un área natural interesantísima y única, que contrasta con la mayor parte del país y está prácticamente deshabitada. Se le podría dar la máxima extensión, prolongándola más o menos hacia SW, de su superficie total que excede los 10000 km<sup>2</sup>.

2) *Reserva de los Saladillos*, al norte del embalse meridional, con un complejo de lagunas y cursos de aguas, en general más mineralizadas o saladas que el Paraná. Ofrecerá la ventaja de mantener en condiciones no modificadas a poblaciones de peces, que podrían migrar de norte a sur, con acceso lateral a los embalses del Paraná. El aflujo de agua de los embalses a través de la presa lateral de aquéllos, ofrecerá facilidades suplementarias a la migración de los peces, y contribuirá al lavado y mejora de los suelos de la cuenca.

3) *Reserva del delta del Paraná*. Aunque quede muy apartada de los embalses sería necesaria dentro de un plan de conservación más amplio. Si, como es probable en el futuro, se utiliza el agua de buena calidad de los embalses para proyectos de riego en áreas alejadas -hacia el oeste, por ejemplo- el delta recibirá menos aguas y probablemente también menos materiales sólidos. El agua de la reserva de los Saladillos continuaría sujeta a fluctuaciones importantes, fluctuaciones que se transmitirían hacia el delta, a través de las vías de migración de los peces. Los ecosistemas fluctuantes deben continuar siéndolo para que conserven sus características. En mi opinión y en relación con el plan general de ordenación de la cuenca del Paraná, debe examinarse seriamente la posibilidad de establecer una extensa área protegida en la región del delta, que ofrecerá, además de su función de conservación de espacios naturales, con vegetación, aves y peces, condiciones óptimas para la explotación pesquera, así como para el cultivo de peces y otros animales acuáticos, como una alternativa perfectamente válida -y no totalmente incompatible-, dada la gran extensión del delta, con el desarrollo habitual, frecuentemente caótico, que se da en semejantes ambientes en todo el mundo, con desarrollo industrial, explotación de gas, aeropuertos, marinas, etc.

Dos de las reservas grandes, las de Iberá y de los Saladillos, se sitúan sobre tierras a las que se ha dado poco valor, de manera que caen dentro de la tradición europea, aunque la extensión protegida que se propone sea muy superior a lo que suelen tener las reservas en aquel continente. El embalse en el delta del Paraná sería más bien del tipo americano, y además de garantizar la preservación de un área insustituible, y asegurar la debida conexión entre áreas de un mismo río pobladas sucesivamente por las mismas especies de peces, podría permitir, en el futuro, la implantación de una acuicultura muy activa.

## El reto de los embalses del Paraná a la ciencia

La tecnología actual se puede transferir libremente de unos a otros países, independientemente del desarrollo científico. De hecho, en muchos países, como en todos los latinoamericanos, la ciencia que hacen está completamente despegada de la tecnología que usan. Semejante divorcio puede ser aceptable en la mayor parte de las áreas de la tecnología, pero lo es menos en las que rozan la ecología. Simplemente, porque la naturaleza de cada país ofrece características únicas y es imprevisible el resultado de su interacción con una tecnología desarrollada en un área muy distinta. En este caso apenas se puede pedir a la ciencia local otra cosa que proporcionar la prudencia necesaria para elegir entre tecnologías disponibles. Además de servir de base a esta actitud filosófica, la investigación se ha de orientar a resolver problemas que han sido identificados o que ya se vislumbran, y no seguir simplemente un camino ya trazado, con la excusa o justificación que algo de lo que se descubre puede ser de interés.

A mi manera de ver, la investigación más necesaria consiste en acelerar el estudio de la situación actual y organizar de la manera más eficiente el seguimiento de las transformaciones futuras. Puesto que ecosistemas, objetos de estudio, son tan diferentes de los considerados en la limnología y en la ecología tradicionales, centrada aquella en el estudio de los lagos de la región templada, se requiere un esfuerzo verdaderamente creador o renovador.

La construcción de las represas llevará consigo la desaparición parcial de un tipo peculiar de ecosistema. Los grandes ríos tropicales o subtropicales, de muy poca pendiente, con meandros y lagunas, caracterizan un ecosistema complejo que ha sido muy importante en la evolución de la vida en las aguas dulces, especialmente en los continentes con pocos lagos o sin ellos, como Sudamérica (nota 6). Este tipo de ecosistema está desapareciendo rápidamente por la actividad humana que tiende a canalizar y regularizar el cauce de los ríos y represarlos, provocando cortocircuitos y utilizando de otra manera la energía que el río invertía en la estructuración y funcionamiento de un sistema complejísimo.

Estos ecosistemas están desapareciendo más aprisa de lo que requeriría el que fuesen mínimamente estudiados, con una pérdida irreparable en el conocimiento de como funciona nuestra biosfera. El que suscribe este informe ha expresado en diversas circunstancias su inquietud o preocupación a este respecto, y aquí está obligado a reiterarlas.

Los embalses constituyen experimentos ecológicos grandiosos, como que son de las pocas obras humanas visibles desde el espacio. Por su magnitud y trascendencia científica, y aparte de la finalidad práctica, la construcción de los embalses del Paraná puede compararse a poner un gran satélite en órbita y no quedaría fuera de consideración invitar a científicos de diversos países a planificar observaciones y sugerir experiencias que pudieran realizarse con tal oportunidad. El conocimiento que derivará de seguir estrechamente los cambios que se produzcan tiene gran interés teórico y práctico, de valor inmediato para la República Argentina, si se piensa que la construcción de un embalse precederá a la

del otro, y que probablemente en años sucesivos se construirán más embalses

Por la grandiosidad de estos ecosistemas y la escala de los experimentos o transformaciones que en ellos se van a realizar, no es posible basarse simplemente en rutinas o actitudes inspiradas por el estudio de lagos y ríos de la zona templada nórdica. Además, la teoría del río es pobre; la adecuada al Paraná, inexistente. Tal enfoque resultaría excesivamente pedestre y falto de imaginación. Es cierto que hay que seguir las técnicas tradicionales en la obtención de análisis y censos y que hay que levantar el inventario de la flora y de la fauna, lo que, además, es necesario para comparación con otros ecosistemas.

Pero creo que, además, debe hacerse un esfuerzo serio y deliberado de plantear o replantear de manera original las cuestiones que son verdaderamente relevantes para entender el funcionamiento de los ecosistemas de la cuenca y de los embalses y para poder manejarlos y regularlos hasta dónde sea posible y conveniente.

Las direcciones de estudio más importantes podrían surgir como resultado de seminarios y grupos de discusión, en los que estuvieran presentes personas que cultivan distintas disciplinas, incluyendo jóvenes y gente formada en otros países, especialmente cuando pudieran aportar su experiencia en relación con obras comparables (por ejemplo, embalses de África y de la Unión Soviética) o con ecosistemas que presentan algunos problemas comparables (por ejemplo las marismas de la zona templada, o las áreas pantanosas en regiones subtropicales).

La construcción de laboratorios de campo -por ejemplo en el Iberá- atraería sin duda a investigadores extranjeros y propiciaría el clima para una concepción más amplia de la ecología. No tengo la menor duda que la presentación, y la aceptación de la problemática que ofrece el río Paraná, en su propia perspectiva, contribuiría a revitalizar áreas amplias de la ciencia nacional. Estas líneas no son tan especulativas como parecen. Vayan a continuación algunos ejemplos de temas de estudio que requieren el enfoque más general que preconizo, son relativamente novedosos y, o bien contestan a cuestiones prácticas, o abreviarían la obtención de la respuesta pertinente. Esta lista se podría alargar casi indefinidamente.

El Paraná forma el eje de un ecosistema extensísimo, esencialmente dinámico, intermedio entre lo que sería caracterizable como un proceso, tal como el plancton o una nube, y lo que se ve como una estructura definida y persistente, tal como el bosque. La energía externa disponible por unidad de estructura es relativamente baja -poca pendiente- y los procesos de autoorganización conducen a una conformación de meandros, madrejones, lagunitas, etc. que es casi aleatoria. Semejante sistema permitiría un análisis estadístico de las estructuras (nota 7) cuyo resultado se podría expresar por medio de un espectro. Este análisis se podría iniciar, ensayar o complementar sobre fotografías, con el debido control basado en la observación directa. Muchas de las imágenes a gran escala vistas desde el aire son sorprendentemente similares a distribuciones de microorganismos en cultivos o en el plancton, sobre distancias pequeñas. Las técnicas de análisis empleadas en el estudio de transecciones del plancton, de las variables ambientales pertinentes, y de sus relaciones, serían directamente aplicables. Ya se anticipa que el estilo varía a lo largo del

cauce, principalmente en función de la pendiente del río, y también en sentido transversal. Son de prever relaciones entre los espectros de energía, relacionados con la distribución de las diversas intensidades de las riadas.

Podrían hacerse muestreos casi simultáneos, preferentemente desde un helicóptero, tomando muchos centenares de muestras superficiales de agua, sobre una extensión amplia, en unas pocas situaciones típicas -niveles altos o bajos del agua-, analizando las variables físicas y químicas usuales, el fitoplancton y sus pigmentos.

El análisis estadístico de esta información se orientaría a reducir el número de variables, identificar las principales direcciones de variación y relacionarlas con el espacio y el tiempo, y elegir algunas variables fáciles de medir y bien correlacionadas con los componentes principales, que pudieran servir para vigilancia y control en el futuro o, por lo menos, como marco de referencia en el que interpretar los análisis existentes o que se obtengan por otro lado.

Sudamérica es pobre en lagos, pero no es pobre en especies de agua dulce, de manera que hay que suponer que todo el cortejo de meandros, madrejones y lagunas han sido y siguen siendo laboratorios activísimos de evolución. Son factores importantes: el aislamiento intermitente de las lagunas, la enorme fluctuación en los números de las distintas poblaciones, la frecuente reorganización de las posibilidades de flujo génico. Se requeriría el estudio (incluido el enzimático) de la variabilidad genética dentro de cada especie o de algunas especies selectas, también para poder interpretar las situaciones y distribuciones que se establezcan después de los cambios proyectados. Evidentemente, semejante programa debería basarse en un estudio taxonómico intensivo que, sin duda, pondría de manifiesto muchas relaciones ecológicas actualmente desconocidas, en las áreas de la alimentación, defensa y reproducción.

Las masas del pleuston, más disociadas como los camalotes, o más trabadas como los embalsados, constituyen unidades elementales e importantes en el funcionamiento de estos ecosistemas. Sería recomendable estudiarlos como tales unidades, estimando la estratificación, microclima, sucesión y reciclado de los diversos elementos dentro de su área de influencia. Podrían ser una unidad de estudio quizá más adecuada que la célula de fitoplancton, también por razones de escala, y que proporcionaría ideas para interpretar la estructuración de los ecosistemas.

### **Investigaciones sobre objetivos precisos**

Ya se han identificado y, en parte, se están estudiando, una serie de temas de interés práctico en el manejo de los embalses. La siguiente relación, no completa, sirve solo para añadir algunas sugerencias o señalar relaciones con los puntos de vista expuestos en la sección precedente.

**Problemas sanitarios.** Los embalses africanos han servido de cauce a la expansión de plagas diversas. No conocemos en qué medida pueden favorecerlas, en nuestro caso,

una temperatura previsiblemente algo más elevada y una vegetación litoral que verosímelmente será un poco diferente de la actual.

*Digestión de la materia orgánica en el embalse*, principalmente la biomasa inundada al principio y la materia orgánica de los suelos. Se pueden hacer experimentos de la velocidad de descomposición de distintos materiales en diferentes condiciones, así como de la entrada de oxígeno a través de la superficie del agua y modelar su difusión turbulenta hacia el fondo, para debatir con conocimiento de causa las ventajas o inconvenientes de dejar o de eliminar parte de la vegetación del vaso del embalse previamente a la elevación del nivel del agua (nota 8).

*Sedimentación y características del sedimento*. Si el sedimento de los embalses tuviera valor como fertilizante o como soporte de cultivos, existiría un incentivo para dragarlos y prolongar su vida activa. En embalses europeos el sedimento es, desgraciadamente, muy poco apropiado, con el fósforo en forma altamente insoluble.

*Proliferación de pleuston*, principalmente camalotes. Debería sacarse provecho de su producción primaria, que representa una producción energética suplementaria del embalse (notas 2 y 9). Los cálculos más modestos representan la disponibilidad en cada presa seguramente de miles de toneladas cada día. La solución ha de consistir en verlo de manera positiva, como fuente de celulosa o gas, menos de proteína, y crear una demanda para este material.

*Efectos sobre el clima*. Es de prever una atenuación de las fluctuaciones térmicas y un ligero aumento de la temperatura media, al circular el agua en el sentido de latitud creciente. El balance térmico de los embalses será relativamente pequeño (nota 10), aunque no es inútil hacer un modelo estimando y anticipando su influencia, probablemente favorable -reducción de la probabilidad de helada-, en el futuro.

*Peces*. Actualmente hay muchas especies y muchos tipos de movimientos entre las lagunas y el río y a lo largo del río y parece imposible anticipar como estas poblaciones se integrarán en el nuevo ecosistema. Más que la conservación de determinadas especies actuales, con su comportamiento, hay que esperar una reorganización total del ecosistema, quizá con la expansión de especies que actualmente no son las más abundantes. Hay que seguir los cambios, más que empeñarse en controlarlos, lo que puede resultar tarea fútil. Los grandes embalses africanos mostraron un aumento inicial y un descenso posterior de las poblaciones de peces. La pesca representa la extracción de una fracción de la materia orgánica formada en el embalse y siempre es recomendable. Debe estarse preparando para la utilización de la producción de peces, incrementarla y dirigirla si es posible.

En las empresas de piscicultura convendrá no salir de la utilización de especie sudamericanas, que brindan toda clase de posibilidades. Se han previsto pasos para los peces y la poca presión permitirá la supervivencia de los jóvenes si pasan por las turbinas; el plan propuesto de conservación de los ecosistemas de la orilla derecha representa una seguridad suplementaria de la conservación de las especies.

Estos distintos aspectos y aún otros se combinan en dos temas de carácter más general. Uno es la conservación de la calidad del agua, para permitir otros usos que no

sean la simple producción de energía. La problemática de la eutrofización, sobre la que se han escrito infinidad de trabajos, será aplicable en general, con las pertinentes modificaciones y reservas. El mantener baja la eutrofización y la contaminación, minimizan los gastos de depuración y aseguran una calidad mejor del agua, si llega el caso que deba utilizarse para la industria o el aprovisionamiento de ciudades lo que, si estoy bien informado, se haría preferentemente a base de embalses secundarios menores, por lo menos en un futuro ineditao.

Otro aspecto del embalse futuro presenta una alternativa o contradicción en la que conviene pensar desde ahora. Se trata de pensar si es preferible mantener el flujo más uniforme que sea posible, dentro de lo que permita el efecto de la rotación de la tierra y otros factores inevitables o bien estimular una heterogeneidad en el vaso del embalse, de Este a Oeste, en el sentido de que una margen sea más profundo con corriente más intensa y el otro acumule más sedimento y sea de aguas más lentas. Tal diferenciación tendría previsiblemente un efecto positivo sobre la proliferación del pleuston (más bien indeseable, por lo menos hasta que se encuentre una solución a este problema particular, si es que se encuentra) sobre las poblaciones de peces (este efecto deseable) y en general, sobre la conservación de ecosistemas más complicados, lo que también parece deseable, por lo menos al ecólogo. Se podría influir a través de la topografía y rugosidad del fondo del embalse, con los relieves apropiados que sugieran los estudios con modelos o por simulación matemática.

### **Información y educación**

Los programas ecológicos son más efectivos si cuentan con la colaboración del ciudadano educado. Debe incluirse en este proyecto una filosofía de educar para el mañana. Hay que poner en conocimiento del ciudadano los trabajos que se realizan, a través de folletos, programas audiovisuales y por organización de salas apropiadas en museos de la capital y de las ciudades más relacionadas con los proyectos. Esta función se dirigirá especialmente a los escolares y puede ser favorecida por la preparación de libros especiales, senderos naturales que pongan a los niños en contacto directo con la naturaleza, etc. A un más alto nivel puede ser muy efectivo el programar cuidadosamente los trabajos de prospección, admitiendo especialistas de diversas disciplinas, no solo de las más directamente relacionadas con la biología, sino también antropólogos, etnólogos, paleocronólogos, etc., cuyas investigaciones se pueden potenciar mutuamente.

Tanto en las salas de los museos, como a través de los otros medios audiovisuales, se tratará de dar una idea del funcionamiento de los ecosistemas asociados con el Paraná, su importancia en el conjunto de la biosfera, su reactividad, la posibilidad de dirigirlos por obras humanas y, a la vez, los riesgos inherentes a semejante manipulación. Dentro de este marco general son ideas a destacar: Presentar lo que es un río en su conjunto, como expresión de sistemas en sucesión y traslación superpuestos; lo que representa la probabilidad de deriva para la selección de las especies y la configuración final de las comunidades

Insistir también que el río es una expresión de las características ecológicas de toda la cuenca que drena, un poco al modo que la orina es un buen indicador de la salud del cuerpo. No estará de más señalar también la fortuna de poseer estos ríos en un mundo donde la carencia de agua se hace sentir cada vez más sobre extensas regiones. Finalmente, las formas de utilizar los recursos que ofrece el río, como para las generaciones que vendrán después de la nuestra.

## NOTAS

(1) La investigación de los ecosistemas oceánicos prueba que hay una correlación positiva entre la energía externa disponible (en forma de advección y turbulencia, atribuible en último término al viento), la producción primaria, que es la asimilación de carbono por los organismos vegetales, y la dimensión de las estructuras en las que opera aquella energía disponible, estructuras que tienen la forma de células de circulación y remolinos, así como también las dimensiones medias que las manchas o celdillas en que aparece organizado el plancton<sup>7</sup>. Una relación similar entre energía externa utilizable y utilizada, y dimensión de las estructuras de los ecosistemas, se observa también en otros ecosistemas, incluyendo los humanizados<sup>6</sup>.

(2) En cifras aproximadas, los dos embalses del Paraná Medio cubrirán unos 10.000 km<sup>2</sup> y proporcionarán unos 5000 MW de energía hidroeléctrica. Esto corresponde a medio vatio por m<sup>2</sup>. La producción primaria actual del lecho del río es superior. Supongamos que el río se regula en un cauce estrecho y que 9/10 del actual lecho del río o del futuro embalse, hoy ocupados por brazos del río, madrejones, islas y con distintos tipos de vegetación, se dedican a la agricultura. Es razonable aceptar una producción primaria de, por lo menos 2 gramos de carbono por metro cuadrado y día, que equivale aproximadamente a un vatio por metro cuadrado (2 x 11.000 (calorías por g carbono) x 4,185 (J por caloría) / 86.400 (segundo por día) = 1,06 vatios).

(3) Isaacs y colaboradores publicaron un artículo en *Science*, uno de estos últimos años, acerca de la energía que podría obtenerse al diluir el agua dulce en agua de mar, creo recordar que incluso con alguna sugerencia práctica. Basándose simplemente en la diferencia de energía de vaporización, de memoria, creo que se puede calcular en unos 4400 J por litro de agua dulce diluida. 20.000 m<sup>3</sup> por segundo teóricamente podrían proporcionar 20.000 x 4.400 = 88.000 MW.

(5) Véanse, entre otros, los volúmenes dedicados a diversos lagos artificiales africanos y publicados estos últimos años por la editorial Junk<sup>1,2,4,8</sup>, y los trabajos de resumen sobre el embalse de Ryhinsk<sup>11</sup>.

(6) El estudio teórico de los ríos ha hecho muy pocos progresos. Para un tramo determinado, la variación local de cada población depende de los cambios biológicos ( $\alpha$ ), del transporte de aguas abajo, a la velocidad  $V$  y de la variancia de esta velocidad que mide la distinta propensión a derivar o la efectividad de los recursos que permiten

mantener cierta posición ( $A$ );  $x$  es la dimensión según el eje del río  $dN/dt = aN - V dN/dx + A d^2N/dx^2$ , pero esta expresión no dice gran cosa y apenas ayuda a entender la distribución de las distintas especies a lo largo del cauce. Según las disponibilidades de energía externa, los ríos forman cauces convergentes (mayor pendiente y mayor energía relativa) o bien cubren el espacio con meandros y sinuosidades (en el llano, con menos energía relativa).

Como tantos sistemas naturales de poca energía, este último caso conduce a una gran heterogeneidad que se puede estudiar con modelos aleatorios. El arroyo de montaña nos parece mucho más determinado -y muchísimo más sencillo- que un gran río serpenteante con su cortejo de lagunas.

(7) Existen diversos procedimientos matemáticos para buscar componentes periódicos (en el tiempo o en el espacio) en cualquier variable. La distribución de una variable como puede ser la densidad de población de cierta especie a lo largo de un trayecto, se puede expresar abreviadamente en forma de un espectro que asocia cada longitud a una variancia. El espectro puede ser una simple línea inclinada, que representa una estructura "blanca", o bien mostrar picos que indican la dimensión de unidades importantes de estructura. Se han hecho muchos estudios de este tipo sobre el plancton marino (véanse trabajos de Platt y Denman<sup>10</sup>, entre otros). Aquí se propone analizar de este modo, a lo largo de transectos trazados en distintas direcciones, la composición de las comunidades, dentro del mosaico general o, eventualmente, su expresión como mancha individualizable en una fotografía aérea.

(8) Estos últimos años han proliferado los experimentos sobre la descomposición de materia vegetal en el agua, principalmente de hojas y ramaje de árboles caducifolios en la zona templada y en ríos de diferentes características. El peso se reduce a la mitad después de un tiempo que suele variar entre uno y tres meses, en función de la especie, temperatura, presencia de animales, etc.

La entrada de oxígeno del aire en función del consumo de oxígeno en el agua, del grosor de la película superficial del agua y de los mecanismos de transporte por turbulencia, ha sido frecuentemente estudiada en relación con la autodepuración (y aireación) de aguas residuales y de manera más científica, por otros autores (por ejemplo, Kanwisher<sup>5</sup>). Sobre la base de estos datos se puede pensar que la destrucción de la vegetación sumergida será considerablemente rápida; pero será fácil hacer estimaciones sobre una base menos incierta.

(9) Según datos publicados por el INALI y el CECOAL, el pleuston alcanza una biomasa de varios kg por  $m^2$  y una producción considerable, creo recordar que hasta 1000 g de carbono por  $m^2$  y año. Pero no podemos anticipar la superficie de los futuros embalses que estará cubierta por estas comunidades. Pero aún suponiendo que dicha superficie sea solo entre el 5 y el 10%, cada embalse puede dar más de mil toneladas de peso seco por día. Si se resuelve utilizar este material para la producción de metano hay que buscar un dispositivo continuo, probablemente en forma de silo de gran profundidad, para conseguir una presión suficiente que excluya el aire del material que se carga, y un sis-

tema de extracción del gas en forma de embudo invertido sobre el fondo, siguiendo la extracción aue se hace de metano natural en el lago Kiwu, de Africa.

(10) El cambio de calor de un lago se estima por la diferencia en calorías entre verano e invierno, en una columna de  $1 \text{ cm}^2$  de sección, entre el aire y el sedimento. En los embalses del Paraná este balance será pequeño, del orden de  $500 \text{ cm} \times 10^\circ\text{C} = 5000 \text{ cal cm}^{-2}$ , que es solamente la décima parte del balance térmico de los grandes lagos, La influencia de los embalses será, pues, pequeña en intensidad sobre el clima del entorno, aunque lo compensan por su gran extensión. Por otra parte, y a diferencia de lo que ocurre con los grandes lagos, este embalse térmico puede no ser lo más importante frente al calor conducido por el flujo del río. Es relativamente fácil de calcular cuál será la contibución térmica previsible de los embalses sobre el clima local.

#### REFERENCIAS

- 1.- Allanson, R.R. (edit.) 1979. Lake Sibaya. *W. Junk*, The Hague, 353 p.
- 2.- Balon, E. K. y A. G. Coche (edit.). 1974. Lake Kariba. A man-made tropical exosystem in Central Africa. *W. Junk*, The Hague, 767 p.
- 3.- Inevbore, A.M.A. y O.S. Adegoke (edit.) 1975. The ecology of lake Kainki, The transition from river to lake. *Univ. Ife Press. Ife-Ife*, Nigeria, 209 p.
- 4.- Kalk, M., A.J. MacLachlan y C. Howard-Williams (edits.) 1979. Lake Chilva. Studies of change in a tropical ecosystem. *W. Junk*, The Hague, 462 p.
- 5.- Kanwisher, J. 1963. On the exchange of gases between the atmosphere and the sea. *Deep-Sea Res.*, 70: 195-207.
- 6.- Margalef, R. 1979. The organization of space. *Oikos*, 33: 152-159.
- 7.- Margalef, R. y M. Estrada 1981. On upwelling, eutrophic lakes, the primitive biosphere and biological membranes. *Coastal upwellin*, (p. 522-529) En: Coastal and Estuarine Sciences, I. *Americal Geophysical Union*.
- 8.- Mordukhai-Boltovskoi, P.D. (edit.) 1979. The river Volga and its life. *W. Junk*. The Hague, 473 p.

- 9.- Odingo, R.S. (edit.) 1979. An African dam. Ecological survey of the Kamburu/Gturu hydroelectric dam area, Kenya. *Ecol. Bull*, 29: 1-184. Swedish Nat. Sci. Res. Council, Stockholm.
- 10.- Platt, T. y K. Denman 1977. Organization in the pelagic ecosystem. *Helgolander wiss. Meeresunters.*, 30: 575-581.
- 11.- Soviet Nat. Comm. IBP 1972. The Rybinsk reservoir and its life. *Publ. House Nauka Leningrad*, 364 p.

---

Recibido/Received/19 de Noviembre 1982