

# CONSERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS DE LOS PECES: PROBLEMAS Y RECOMENDACIONES

Informe de la Consulta de Expertos  
sobre los Recursos Genéticos de los Peces  
Roma, 9-13 de junio de 1980



en colaboración con el  
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION



ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA  
Y LA ALIMENTACION



PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE

CONSERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS DE LOS PECES:  
PROBLEMAS Y RECOMENDACIONES

Informe de la Consulta de Expertos sobre los Recursos Genéticos de los Peces  
Roma, 9-13 de junio de 1980

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Bios  
Cena  
Ben/abs

M-42

ISBN 92-5-301173-4

Este libro es propiedad de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. La solicitud para ser reproducido, en su totalidad o en parte, por cualquier método o procedimiento, deberá enviarse al Director de Publicaciones, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue.

© FAO y PNUMA

PREPARACION DE ESTE DOCUMENTO

Atendiendo a la solicitud de la Comisión de Pesca Continental para América Latina (COPESCAL) en su tercera reunión celebrada en México D.F., del 30 de noviembre al 8 de diciembre de 1983 (véase párrafo 51 del Informe de Pesca N° 307), la FAO ha traducido y publicado este informe en versión española para distribución a los países miembros de la COPESCAL. El documento original en inglés ha sido adoptado y traducido por el Dr Manuel Uribe, Genetista del Departamento de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM (Apartado Postal 70-305, Ciudad Universitaria, México, D.F. 04510, México).

Distribución:

Participantes en la tercera reunión de la COPESCAL  
Participantes en la segunda reunión del Grupo de Trabajo sobre Recursos Pesqueros  
Países miembros de la COPESCAL (de habla hispana)  
Bibliotecas de las instituciones pertinentes de los países de América Latina  
Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe  
Oficina de los Representantes de la FAO en los países de la región  
PNUMA  
UICN  
Unesco

Para fines bibliográficos este documento debe ser citado como sigue:

FAO/PNUMA, 1984, Conservación de los recursos genéticos de los peces: problemas y recomendaciones. Informe de la Consulta de Expertos sobre los recursos genéticos de los peces. FAO Doc.Téc.Pesca, (217):42 p.

#### RESUMEN

Este informe recapitula los argumentos para la conservación de los recursos genéticos de los peces y las diversas estrategias para llevarla a cabo tanto en aguas continentales como en el mar. Recapitula la importancia de la diversidad genética, especialmente en el seno de poblaciones y subpoblaciones, para lograr la viabilidad de los ecosistemas acuáticos y la salud de las poblaciones ícticas y discute varias formas por las cuales se produce el empobrecimiento genético. El informe enfatiza la importancia de mantener el tamaño efectivo de las poblaciones reproductivas de, por lo menos, 50 para mantener la adaptación a corto plazo, y de, por lo menos, 500 para la supervivencia a largo plazo, y para evitar cuellos de botella genéticos creados por la reducción del tamaño de las poblaciones reproductivas durante una o más generaciones.

El informe evalúa igualmente las tecnologías disponibles para el monitoreo, conservación y refuerzo de los recursos genéticos en poblaciones ícticas estrictamente administradas. Concluye haciendo recomendaciones a cinco grupos diferentes: a organizaciones internacionales, a gobiernos, a acuicultores y administradores de pesquerías, a conservacionistas y a la comunidad científica.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes históricos de la acción internacional	1
1.2 Objetivos y marco de referencia	2
1.3 La conservación de la naturaleza versus la preservación de los recursos genéticos	2
1.4 Una distinción importante: extinción versus empobrecimiento genético	3
1.5 El caso de la preservación de los recursos genéticos de los peces	3
1.5.1 Argumentos nutricionales para la preservación de los recursos genéticos	3
1.5.2 Argumentos económicos para la preservación de los recursos genéticos	4
1.5.3 Argumentos ecológicos para la preservación de los recursos genéticos	5
2. NIVELES Y METODOS DE PRESERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS DE LOS PECES	6
2.1 Impacto humano en los hábitats acuáticos	6
2.2 Métodos para la preservación de los recursos genéticos	8
2.2.1 Sistemas oceánicos	8
2.2.2 Aguas continentales	9
3. PRINCIPIOS GENERALES DE LA PRESERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS	9
3.1 La importancia de la variación genética	9
3.2 Efectos de la endogamia	10
3.3 Monitoreo y medición de la variación genética	11
3.4 La estructura genética de una población en relación a la explotación y extinción	12
4. CRITERIOS SOBRE LOS TAMAÑOS MINIMOS DE POBLACION	14
4.1 Criterios y escalas temporales	14
4.2 Supervivencia de poblaciones en cautiverio	15
4.3 Influencias poblacionales en el tamaño efectivo de la población	16
4.4 El mantenimiento a largo plazo de la adaptación	16
5. LOS COMPONENTES DEL EMPOBRECIMIENTO GENETICO EN LAS POBLACIONES DE PECES	17
5.1 Efectos de la contaminación y otros factores de tensión	17
5.2 Efectos de la pesca	19
5.3 Efectos de las especies exóticas de peces	19
5.3.1 Introducción activa de peces como alimento	19
5.3.2 Introducciones de peces deportivos y ornamentales	22
5.3.3 Introducciones para el control de las malas hierbas y de los insectos	22
5.3.4 Introducciones accidentales	22
5.3.5 Consecuencias biológicas de las introducciones	22
5.4 Efectos de la selección artificial	23
5.5 Domesticación	25

	<u>Página</u>
6. TECNICAS PARA LA PRESERVACION Y REFUERZO DE LOS RECURSOS GENETICOS EN POBLACIONES DE PECES DE ADMINISTRACION ESTRICTA	26
6.1 Selección artificial de reproductores	26
6.2 Métodos artificiales de reproducción	27
6.3 Hibridación y heterosis	28
6.4 Refuerzo de poblaciones	29
6.5 La criopreservación de los recursos genéticos	29
7. RECOMENDACIONES	30
7.1 Recomendaciones dirigidas primariamente a las organizaciones internacionales	30
7.2 Recomendaciones dirigidas primariamente a los gobiernos	31
7.3 Recomendaciones a los acuicultores y administradores de pesquerías	31
7.4 Recomendaciones dirigidas primariamente a la comunidad conservacionista	33
7.5 Recomendaciones dirigidas primariamente a la comunidad científica	33
8. REFERENCIAS	34
APENDICE 1 Lista de participantes	39
2 Propuesta para la Creación de Centros Regionales de Información sobre Recursos Genéticos Acuáticos	40
3 Propuesta para la Creación de un Programa de Educación sobre la Conservación Genética de los Recursos Acuáticos	41

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 Antecedentes históricos de la acción internacional

La necesidad de conservar los recursos genéticos de los peces ha sido sentida por los científicos relacionados con las pesquerías y por los acuicultores desde hace tiempo, especialmente en lo relativo a la sobreexplotación de las poblaciones naturales, a los efectos de las alteraciones a gran escala de los sistemas fluviales y a la domesticación de las especies a través de la acuicultura. El Simposio Mundial de la FAO sobre el Cultivo de Peces en Estanques de Aguas Tropicales (Roma, 1966) dio énfasis a la importancia de la selección genética y de la hibridación en el mejoramiento de las variedades de peces utilizadas para cultivo e hizo notar los problemas de la excesiva endogamia en las carpas cultivadas. La necesidad de un sistema internacional para la designación de líneas y stocks fue reconocida. En 1971, la FAO estableció un grupo de trabajo *ad hoc* sobre los recursos genéticos de los peces, que recapituló los progresos logrados en la selección genética en la cría de peces, identificó áreas de prioridad para la investigación e hizo varias recomendaciones para la conservación de los recursos genéticos de los peces. Se hicieron sugerencias sobre la urgente necesidad de encontrar métodos para lograr lo anterior, sobre la preparación de un catálogo de los recursos genéticos en peligro de extinción de uso potencial en la acuicultura y sobre la conveniencia de emprender una colecta de especies silvestres de uso potencial. Estas acciones no se han llevado a cabo, principalmente porque no ha habido consenso sobre los criterios necesarios para encuadrar este trabajo dentro de proporciones manejables. La Conferencia Técnica de la FAO sobre la Acuicultura, efectuada en Kyoto, Japón, del 26 de mayo al 2 de junio de 1976, reafirmó la necesidad de mantener la diversidad genética de los stocks propagados artificialmente, hizo notar que la transferencia indiscriminada de peces y moluscos en algunos casos ha tenido efectos adversos sobre las poblaciones autóctonas e invitó a incrementar la investigación sobre la genética de los peces, ya que existe una seria falta de información sobre este tema, lo que dificulta la formulación de programas de selección de cría.

Una estrategia para conservar la diversidad de las poblaciones naturales de peces y de otros organismos es disponer de reservas acuáticas. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos (UICN) ha promovido activamente los parques marinos, y con la cooperación del Gobierno de Japón, del Fondo Mundial de Vida Silvestre y del PNUMA se llevó a cabo una Conferencia Internacional sobre Parques y Reservas marinos en Tokio del 12 al 24 de mayo de 1975. Esta conferencia recapituló las conclusiones y recomendaciones de las conferencias regionales y mundiales previas, referentes al medio ambiente marino y propuso, entre otras cosas, que la UICN y otros organismos interesados "llevaran a cabo una coordinación de estrategias para satisfacer futuras solicitudes de ayuda a naciones en vías de desarrollo para el establecimiento de parques marinos" y "que se formaran equipos para realizar estudios con el fin de que los sistemas de reservas y parques marinos se basen en los mejores datos disponibles; para colaborar en la formulación de políticas de conservación adecuadas en lo relativo a los parques y reservas marinas, y para identificar aquellos proyectos que permitan llevar a cabo programas de cooperación bilateral y/o de otro tipo de cooperación técnica."

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, Estocolmo, 1972, recomendó dar énfasis, entre otras cosas, a la necesidad de la conservación de todos los recursos genéticos. En su tercera sesión (1975) el Consejo Directivo del Programa sobre el Medio Ambiente, de las Naciones Unidas, encargó entre otras cosas, la preparación de un estudio comprensivo sobre los problemas de la conservación de los recursos genéticos como parte de un informe general sobre la conservación de los recursos genéticos. La FAO, a través de un proyecto de cooperación con el PNUMA (FP/1180-75-01) preparó un documento que incluyó una breve revisión de los problemas y necesidades de acción acerca de los recursos de los peces (PNUMA/PROG/4). El estudio comprensivo fue revisado y publicado por el PNUMA como el Informe UNEP N° 5 "An Overview of Genetic Resources" (Un estudio comprensivo sobre los Recursos Genéticos). Este informe dio énfasis a que la limitación básica es debida a la falta de conocimientos y recomendó, entre otras cosas, la necesidad de crear un mecanismo de monitoreo de los cambios en la diversidad genética de las poblaciones ícticas; de promover la investigación dirigida tendiente a la creación de conocimientos sobre la genética de los peces, lo que ayudaría a definir operacionalmente el empobrecimiento genético de las especies ícticas; y de promover la investigación sobre metodologías adecuadas a la conservación.

En el transcurso de los debates sostenidos en la FAO, en Roma, el 9 de junio de 1979, se estuvo de acuerdo en que la gama de necesidades y problemas asociados con este aspecto de la conservación genética, no podía ser adecuadamente compendiada y evaluada por una sola persona. Se propuso que un grupo de expertos se reuniera para llevar a cabo este estudio y para proponer un programa de acción equilibrado y factible.

Se acordó que la FAO organizaría una consulta de expertos, en cooperación con el PNUMA, y con la participación de la Unesco y la UICN, que se llevaría a cabo en Roma del 9 al 13 de junio de 1980.

## 1.2 Objetivos y marco de referencia

El objetivo de la consulta, como se menciona en la invitación enviada a los posibles participantes, era:

- (1) profundizar en los problemas cuya resolución requiere de la conservación de los recursos genéticos icticos;
- (2) fomentar un consenso científico sobre la necesidad y sobre la estrategia para resolver tales problemas;
- (3) proponer un plan de acción y la metodología adecuada para llevarlo a cabo.

Posteriormente, se hizo evidente que la consulta necesitaba enfocarse primariamente en los aspectos científicos del problema, considerando especialmente la naturaleza de las amenazas a la diversidad genética de los peces, intra e interespecíficamente, las metodologías para monitorear y evaluar el cambio en la diversidad genética y para identificar las medidas factibles que deben adoptarse para conservar la diversidad. El proyecto de un plan de acción comprehensivo y coherente para ser implementado por los gobiernos fue considerado como un paso subsecuente. Por ello en el transcurso de la consulta, se invitó a los expertos a formular recomendaciones a diferentes tipos de personas o instituciones: científicos, conservacionistas, administradores de pesquerías y acuicultores, gobiernos y organizaciones internacionales.

## 1.3 La conservación de la naturaleza versus la preservación de los recursos genéticos

El objetivo de la conservación de la naturaleza es la preservación para la posteridad de la mayor parte posible de la diversidad biológica y ecológica. Las justificaciones de tal actitud comprenden una amplia gama de ideas y experiencias humanas - desde la ética inspirada por Dios hasta el lucro económico y político a corto plazo. En un extremo, algunas personas arguyen que la moral dicta el derecho de todas las especies de persistir y evolucionar, y que el poder del hombre para alterar y destruir la biósfera no le otorga la licencia ética para hacerlo. Por otra parte, existen los que, desde el punto de vista del bienestar humano, arguyen que la preservación de la diversidad biológica es cuestión de sentido común, y que la estrategia prudente es mantener, por medio de la preservación de la diversidad genética, las posibilidades de sostener la producción en la agricultura, en la silvicultura, en las pesquerías y en el aprovechamiento de otros productos naturales, y minimizar los peligros de desastres ecológicos tales como alteraciones climáticas, erosión, deposición de sedimentos, desertificación y contaminación.

No obstante que no se ha encontrado un acercamiento o justificación aceptados plenamente, varios de ellos son razonables. La preservación de los recursos genéticos es uno de ellos. El acercamiento de los proponentes de la preservación de los recursos genéticos es pragmático. Es indispensable que la producción de los recursos naturales se incremente para lograr el bienestar humano. Los peces son una fuente importante de proteínas y de otros productos orgánicos valiosos. Por tanto, la protección y aprovechamiento de las posibilidades de mejoramiento de las pesquerías y de la acuicultura tienen una alta prioridad social. La consecución de estas metas depende en gran parte de la ciencia y la tecnología, y es responsabilidad de la genética realizar el esfuerzo del que se habla en este informe. El interés y el conocimiento del papel de la genética en el refuerzo de la producción pesquera no necesariamente nos convierte en conservacionistas, sino que nos hará elementos más efectivos en el esfuerzo para alimentar a la velozmente creciente población humana.

#### 1.4 Una distinción importante: extinción versus empobrecimiento genético

Es conveniente y práctico distinguir dos procesos a través de los cuales los recursos genéticos pueden perderse. Estos son: (1) la extinción de las especies, y (2) la reducción de la variación genética dentro de una especie. El primer proceso, una vez que se da, es cualitativo, definitivo e irreversible; el segundo depende del grado, y hasta cierto punto, es reversible.

En este informe se discuten ambos aspectos porque son sumamente importantes para mantener alternativas de acción en las pesquerías. Sin embargo, la importancia de los dos procesos en la explotación depende de la etapa de desarrollo, la intensidad y, el grado de control de la pesca por parte del hombre. Estos problemas serán tratados en este informe.

Una perspectiva realista del proceso de extinción y de su status actual es esencial para los que trabajan en campos relacionados con los recursos. Es particularmente importante el cambio que se ha dado en la tasa de extinción. Fuera de los períodos de fluctuaciones climáticas dramáticas, tales como el Pleistoceno, el origen y la extinción de especies ha tenido tasas similares a lo largo de cientos de millones de años. En la actualidad, sin embargo, debido a la destrucción del habitat por la acción del hombre, las tasas de extinción son probablemente tres o más veces mayores que nunca antes (Myers, 1979; IUCN-UNEP-WWF, 1979), mientras que la tasa de aparición de especies nuevas de organismos mayores, especialmente en los trópicos, tiende a cero (Soule, 1980). Por ello es probable que los grupos de organismos que ocupan habitats en proceso de desaparición no vuelvan nunca a alcanzar sus niveles actuales de diversidad orgánica.

Para los peces la situación puede no parecer tan severa, aunque la gravedad de la situación depende del lugar y del grupo. La destrucción del habitat en los océanos no es todavía notoria. Por lo menos no se han observado incrementos detectables o notorios de las tasas de extinción en ellos (no obstante que algunas poblaciones se han extinguido debido a la sobrepesca y a la contaminación). En otros habitats acuáticos, sin embargo, la situación se deteriora rápidamente. El problema se reduce a la separación de escalas de tiempo. La contaminación, explotación o desarrollo se mide en años, décadas o siglos, mientras que la especiación es normalmente medida en períodos mucho más largos.

Por ejemplo, puede necesitarse sólo diez años para construir una presa, creando con ello un habitat no apto para la fauna fluvial, dependiente de inundaciones periódicas y de corrientes de agua. Por otra parte, harán falta miles de años para que los peces se modifiquen a formas lacustres en el reservorio así originado.

Argumentos similares se pueden citar para los efectos de la contaminación y del azolvamiento de los ríos, lagos, estuarios, lagunas costeras y arrecifes. Obviamente, es ingenuo mantener las esperanzas de que la evolución de nuevas especies compense la pérdida de variedad biológica en las décadas inmediatamente siguientes.

#### 1.5 El caso de la preservación de los recursos genéticos de los peces

Se asume a lo largo de esta sección que la forma de explotación de un recurso es tan importante, a la larga, como el grado en que se explota. Más explícitamente, la manera en que las poblaciones de peces son administradas determinará el éxito a largo plazo de la empresa. Esto no sorprende a los biólogos pesqueros, aunque existe un aspecto de la administración que ha sido relativamente ignorado, el aspecto genético. Uno de los objetivos de este informe es dar énfasis a este aspecto y, por medio de ello, prevenir, por tanto, evitar la muy seria pérdida de alternativas que ya ha ocurrido en la agricultura (National Academy of Sciences, 1972; Heslop-Harrison, 1974), y en menor escala, en los animales domésticos (Frankel y Soule, 1981; FAO, 1975).

##### 1.5.1 Argumentos nutricionales para la preservación de los recursos genéticos

La carne de pescado es una importante fuente de proteína animal de alta calidad. Debido a la creciente población mundial y a la expectativa de mejoramiento de la calidad de vida, las presiones sobre los peces, ya como fuente de alimento, ya por sus productos

secundarios, sólo puede incrementarse en el futuro. En la actualidad los peces y animales acuáticos proporcionan el 17 por ciento de la proteína animal total en la dieta humana. Este dato estadístico esconde grandes diferencias regionales en el consumo de pescado. Por ejemplo, 32 países obtienen 34 por ciento o más de su proteína animal de peces o mariscos. En el continente africano, diez países obtienen de los peces más del 40 por ciento de sus proteínas. En 21 países en el mismo continente, más de la mitad de la pesca proviene de lagos y ríos, y en 13 la pesca proviene totalmente de aguas interiores.

El potencial de crecimiento de las pesquerías naturales marinas y de agua dulce es limitado. La pesca mundial total ya es de 15 a 20 millones de toneladas menor de lo que podría haber sido si la pesca hubiera estado estrictamente controlada a través de una administración con criterios científicos, y 25 pesquerías valiosas se han visto seriamente disminuidas por la sobrepesca. Otros factores que limitan la contribución de los peces marinos a la dieta son los problemas de distribución, almacenamiento e inhibiciones culturales a su consumo.

El cultivo intensivo en piscifactorías puede, en principio, superar estas limitaciones. Las piscifactorías pueden a menudo situarse en lugares cercanos a los mercados en los que es vendido el producto. Evitan también la disminución de los recursos biológicos, excepto donde todavía se depende de la colecta de semilla de las poblaciones silvestres. El cultivo en piscifactorías no sólo permite que los productos sean entregados directamente a los mercados, sino que también constituye un recurso renovable e inagotable. La acuicultura se encuentra en una etapa temprana de desarrollo y la producción de nuevas líneas y razas de peces para alimento requerirá una administración muy cuidadosa de los recursos genéticos disponibles. La enseñanza obtenida en el cultivo intensivo de plantas y de animales domésticos, es que la disminución de la base genética de las especies es inevitable. En estos procesos, entre los determinantes genéticos susceptibles de ser perdidos en las etapas iniciales están los que controlan la resistencia a las enfermedades y la adaptabilidad en medios ambientes marginales. Por lo tanto es prudente que los criadores pongan especial atención a la necesidad de proteger y preservar, en la etapa más temprana posible, una amplia diversidad genética en aquellas especies que más se presten a las tensiones de la cría intensiva.

#### 1.5.2 Argumentos económicos para la preservación de los recursos genéticos

Las pesquerías no sólo proporcionan una gran cantidad de proteínas para el consumo humano, sino también constituyen una actividad muy importante que proporciona oportunidades de trabajo, de inversión y, en muchos países, de mejoramiento del balance de comercio internacional.

Algunas especies de peces son, en razón de rasgos especiales o poco comunes, útiles como animales experimentales y como fuente de sustancias bioquímicas o farmacológicas. Las especies y los rasgos genéticos a preservar en estos casos no son los mismos que para los peces utilizados como alimento. Dado que sólo algunas de las más de 25 000 especies de peces han sido estudiadas científicamente, la extinción de cualquier especie puede representar una pérdida potencial de un recurso económico.

Substancias aisladas de peces o de otros animales acuáticos son ya ampliamente utilizadas en la investigación médica. Por ejemplo, la tetradotoxina (TTX), una toxina aislada del pez *Tetraodon immaculata*, se utiliza en la investigación neurofisiológica como un bloqueador específico de los canales de sodio, y juega un papel importante en la comprensión de los mecanismos iónicos básicos de la transmisión nerviosa.

Otro tipo de compuestos utilizados como herramientas de investigación son las proteínas luminiscentes. Por ejemplo, la acueorina de las medusas ha sido ampliamente utilizada para monitorear la concentración de  $Ca^{2+}$  en las células. El calcio es una señal relevante de la liberación del transmisor/hormona, y de la sincronización en la excitación-contracción y excitación-secreción. La comprensión de tales procesos es importante en el desarrollo de nuevas drogas y en el tratamiento de enfermedades. Es probable que las toxinas, hormonas, glicoproteínas y polipéptidos naturales provenientes de peces constituyan un reservorio de compuestos de igual interés farmacológico muy grande y relativamente inexplorado.

Otros productos naturales, principalmente los aceites y ceras han sido utilizados en la industria desde hace mucho tiempo, por ejemplo, para el refuerzo vitamínico de alimentos para animales. Nuevas aplicaciones de estos productos secundarios podrían constituir sustitutos naturales de medicinas y cosméticos. En muchos países el pescado se utiliza mucho como alimento de animales domésticos y como una importante fuente de fertilizantes.

El establecimiento de la importancia de los productos naturales es un asunto de la mayor prioridad en aquellos casos en que las especies están en peligro de extinción. Los beneficios económicos y sociales proporcionados por tales descubrimientos, sin embargo, van más allá del valor inmediato del pez como recurso económico. La historia de la utilización de los recursos naturales nos enseña que el valor máximo de cualquier recurso genético puede no ser conocido en la actualidad.

Tampoco es suficiente evitar la extinción conservando un pequeño grupo de individuos. No es raro que los determinantes genéticos no estén distribuidos uniformemente en una especie - ni en términos cuantitativos ni cualitativos. Esto constituye un fuerte argumento para preservar una amplia diversidad genética dentro de una especie, principalmente si se visualiza su potencial socioeconómico.

Otro renglón importante de la actividad económica es el de la pesca deportiva. Cada vez más las pesquerías deportivas de agua dulce son administradas científicamente y repobladas con poblaciones provenientes de criaderos. Las pesquerías de agua dulce en países como Irlanda y las pesquerías deportivas marinas en varios países tropicales son un importante factor en el desarrollo del turismo. Por ello las pesquerías deportivas pueden incrementar el empleo y mantener y estimular una amplia gama de actividades económicas dependientes. La creación de clases de reservas marinas donde la pesca controlada es permitida puede proporcionar un valioso método para salvaguardar la diversidad de las especies de las zonas costeras, al tiempo que proporciona buenas ganancias económicas de los pescadores y visitantes ocasionales.

En América del Norte, Europa y Asia Sudoriental el comercio de acuarios ornamentales es una industria sumamente importante. Por ejemplo, las ganancias provenientes de sólo las ventas de peces tropicales en Florida (EE.UU.) en 1974 fueron de más de US\$ 30 millones (Courtenay *et al.*, 1974). Muchas de las especies más populares provienen de la cuenca del Amazonas y de los grandes lagos de África. Estos peces a menudo forman pequeñas subpoblaciones separadas que viven en habitats sumamente especializados o son localizados en zonas restringidas y son, por tanto, extremadamente vulnerables a la extinción. Contando con una guía y promoción adecuadas, el cultivo de tales especies por aficionados puede ser un método para preservar estos recursos para generaciones futuras. Sin embargo, debido al peligro de la endogamia, la conservación *in situ* tiene mejores probabilidades de éxito. Los peces de arrecifes coralinos proporcionan un potencial similar de ingresos y presentan problemas similares en la protección de este recurso a largo plazo.

Algunas especies de peces están siendo sembradas en lagos y ríos para el control de hierbas e insectos. Ello puede tener importancia en la eliminación de enfermedades transmitidas por vectores. Mientras esto es social y económicamente deseable, se debe poner atención a los efectos sobre las poblaciones de peces autóctonos (ver sección 5.3).

En resumen, para mantener las opciones económicas vigentes, es conveniente que se implementen programas eficientes que operen a ambos niveles de la preservación de los recursos genéticos, es decir programas que (1) minimicen la tasa de extinción de las especies evitando la destrucción de los habitats y que (2) minimicen la pérdida de variabilidad genética de las especies que no están en peligro inmediato de extinción, principalmente de aquéllas que tienen ya un papel importante en la supervivencia humana.

### 1.5.3 Argumentos ecológicos para la preservación de los recursos genéticos

El argumento ecológico principal para la preservación de los recursos genéticos, es, en un sentido, el derivado lógico de los argumentos anteriores. Su formulación: la estabilidad de los sistemas ecológicos y el mantenimiento de la diversidad biológica (taxonómica) es un valor universalmente reconocido aunque a menudo se dé mayor prioridad a consideraciones sociales y económicas. Un método importante para mantener la estabilidad y la diversidad es el mantenimiento de la adaptación de las especies, particularmente de los consumidores dominantes de altos niveles tróficos. La escasez o extinción de tales especies constituye una pérdida de recursos genéticos y representa un peligro para la integridad de los ecosistemas.

La protección del habitat es el mejor método para asegurar la supervivencia de especies ícticas ecológicamente importantes. La destrucción del habitat es particularmente desastrosa cuando afecta a especies endémicas locales, porque la eliminación de una especie entera es un proceso irreversible (ver sección 1.4). Se prevé que esto constituya un problema creciente, particularmente en las regiones tropicales donde abundan las especies endémicas con requerimientos ecológicos especializados. No obstante que una limitada disminución de la calidad del agua y de la diversidad del habitat pueda ser tolerada, hay probablemente un punto en el cual aún la destrucción parcial del habitat puede alcanzar umbrales genéticos y ecológicos que originen el inicio de la extinción. Algunos ecólogos tropicales creen que la extinción de algunas especies clave originará una súbita cadena de extinciones (Gilbert, 1980; Terborgh y Winter, 1980). En resumen, la preocupación por la supervivencia de las especies, y la creación de programas y guías de preservación adecuados, serán de beneficio indirecto al hombre al proteger ecosistemas enteros y todos sus valores económicos y ecológicos concomitantes (World Conservation Strategy, 1980).

## 2. NIVELES Y METODOS DE PRESERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS DE LOS PECES

Desde el punto de vista de la preservación de los recursos genéticos de los peces, pueden distinguirse cuatro niveles principales de preocupación y estrategia (tabla 1): (1) los sistemas oceánicos, (2) las aguas continentales (dulces y marinas), (3) la acuicultura y (4) los programas de refuerzo de poblaciones. Los dos últimos niveles de preocupación están directamente controlados por el hombre, mientras que los dos primeros pueden ser considerados como sistemas no controlados, a pesar de que las actividades humanas pueden tener importantes repercusiones en ellos.

### 2.1 Impacto humano en los hábitats acuáticos

Existen varias características que distinguen claramente los sistemas oceánicos de las aguas continentales, en lo referente a la preservación de los recursos genéticos. Primeramente, el tamaño mucho mayor de los sistemas oceánicos, en términos de las dimensiones físicas y de las biomásas involucradas, los hace mucho más difíciles de manejar. Debe hacerse notar, sin embargo, que algunas de las mayores cuencas fluviales (por ejemplo en Sudamérica y Africa) y la biomasa de los peces explotados en ellas, se acercan a las dimensiones oceánicas.

Los efectos de los ciclos meteorológicos y especialmente hidrológicos son normalmente mucho más importantes en las aguas continentales donde tienen gran influencia sobre las poblaciones ícticas, especialmente en lo relativo a las estrategias o migraciones reproductivas. La combinación de estas características significa que ambas presiones, las naturales y las inducidas por el hombre, tienen una repercusión relativamente mayor en los sistemas continentales. Se incluyen en este grupo los habitats intermareas, los sistemas de arrecifes coralinos y los de aguas salobres y dulces.

Biológicamente estas condiciones originan otras dos distinciones relevantes para la conservación de los recursos genéticos: (a) las zonas continentales tienen mayor número de especies y subpoblaciones endémicas de distribución local que los sistemas oceánicos, y (b) la menor repercusión de las presiones sobre las especies pelágicas oceánicas, y su alta fecundidad, hace que su extinción sea poco probable. A bajos niveles de abundancia, su explotación no será aprovechable económicamente, mientras que en los sistemas continentales cerrados muchas especies podrían desaparecer, y de hecho, han desaparecido.

En los sistemas oceánicos, los principales cambios se producen por la explotación directa, pero selectiva, por medio de las pesquerías. Dicha explotación puede tener dos efectos diferentes en una especie o población en especial. Uno es un efecto directo sobre la estructura poblacional de la especie considerada, a través de la desaparición selectiva de un sector particular. La otra es un efecto indirecto sobre las demás especies, donde las pesquerías puedan afectar la cadena trófica a través, por ejemplo, de la alteración de las relaciones interactivas establecidas.

Los mismos efectos se pueden producir en aguas continentales, pero a menudo en mucho mayor grado, y poblaciones enteras pueden extinguirse, únicamente a causa de la sobrepesca. Aquí, además, se dan otras presiones importantes, notoriamente la contaminación, disrupción de los ciclos de vida y la alteración de la estructura de los ecosistemas, mediante, por ejemplo, la introducción de depredadores, competidores y patógenos de otros lugares.

Tabla 1

Enfoques de la preservación de los recursos genéticos ícticos

Nivel	Problemas genéticos potenciales	Métodos
Pesquerías oceánicas	Extinción de subpoblaciones	Etiquetaje y monitoreo
Hábitats continentales	Extinción de especies Erosión genética	Establecimiento de reservas Administración científica de las reservas
Acuicultura	Erosión genética Depresión endogámica Pérdida de adaptación	Cría controlada Hibridación Criopreservación
Refuerzo de poblaciones	Erosión genética Depresión endogámica Pérdida de adaptación Introgresión con poblaciones silvestres	Cría controlada Hibridación Criopreservación Esterilización genética de poblaciones introducidas

Entre los diferentes tipos de contaminación, la contaminación aérea que ocasiona la lluvia ácida probablemente haya tenido los efectos más devastadores (y en ocasiones selectivos) sobre las poblaciones ícticas, particularmente en el sur de Escandinavia y en el noreste y en la región central del norte de EE.UU. La contaminación directa de las aguas por las descargas de varias substancias (algunas de ellas mutagénicas) como desechos, o los escurrimientos de las sbustancias químicas utilizadas en la agricultura, tienen también especial importancia. Las actividades agrícolas pueden tener también efectos sumamente indeseables tales como la producción de suelos muy ácidos (y su escurrimiento) y el azolvamiento de las corrientes.

Otro impacto humano de consideración es la disrupción de los ciclos biológicos (principalmente los reproductivos) en las poblaciones ícticas, como consecuencia de la construcción de presas y otras obstrucciones en los ríos donde existen peces migratorios. Las presas pueden no sólo impedir la migración río arriba a los sitios de desove, sino que también puede modificar los ríos en habitats semilacustres, no adecuados para especies de corriente. Las barreras ecológicas también son abundantes y pueden estar formadas por zonas de contaminación en las regiones bajas de los ríos, lo que evita la migración de varias especies.

La introducción de especies exóticas puede también ser considerada como un factor importante para las poblaciones endémicas de peces. Pueden introducir enfermedades, originar mayores niveles de depredación y de esta manera afectar al ecosistema (por ejemplo, por competencia por alimento) de modo que se produzca la extinción de especies locales. Es muy raro que las introducciones hayan ocupado un nicho íntegramente vacante, especialmente en los trópicos, por lo que las introducciones muy probablemente vayan a resultar en cambios para las poblaciones endémicas.

Por definición y comparados con los sistemas oceánicos y continentales, los programas de acuicultura, cría en piscifactorías y refuerzo de stocks están sujetos a mayor grado de control humano. Dentro de tales sistemas, puede y debe imponerse un manejo directo del medio ambiente y de los recursos genéticos, cuyos límites estarán establecidos sólo por criterios económicos y por la sofisticación tecnológica.

## 2.2 Métodos para la preservación de los recursos genéticos

Como se ha mostrado en la tabla 1, la estrategia para la preservación de los recursos genéticos está principalmente determinada por el tipo de sistema acuático. Esta sección delinea brevemente los principales enfoques existentes en los distintos tipos de sistemas. Los detalles técnicos se describen en la sección 5.

### 2.2.1 Sistemas oceánicos

Una de las primeras necesidades para la formulación de una política de preservación de cualquier especie íctica oceánica, debe ser un mapa de distribución y la identificación de todas las subpoblaciones existentes. Probablemente se pueda contar con los datos de distribución de las pesquerías más importantes, pero la detección de subpoblaciones deberá ser llevada a cabo mediante el uso de una o más de las técnicas de marcaje disponibles (por ejemplo, etiquetaje, identificación de caracteres merísticos, electroforesis, etc.). La importancia de detectar subpoblaciones está en que, a pesar de que el riesgo de extinción de especies oceánicas por la sobrepesca es probablemente muy pequeño (asumiendo que la pesquería desaparecerá antes que la especie), es del todo posible que una subpoblación peculiar pueda desaparecer. (Incidentalmente, la práctica de describir una población local en una publicación apresurada, como una nueva subespecie, meramente para evitar el desarrollo de una pesquería, es un método legalístico que probablemente resulte contraproducente, ya que posiblemente se vaya a abusar de él).

Cambios importantes dentro de una población explotada pueden ser detectados únicamente mediante un programa sostenido de monitoreo proyectado para estudiar la estructura poblacional global, su composición y su cambio. La disminución de cualquier segmento de la población probablemente pueda ser controlada sólo por la reglamentación de la pesquería, ya sea a través de la reducción de la pesca en el tiempo o en el espacio, o bien alterando el tipo de arte de pesca utilizado.

El efecto de la pesca sobre la diversidad genética de las poblaciones oceánicas se discute posteriormente (sección 3.5). Si existe evidencia de cambios genéticos no deseables en cualquier especie a causa de la selección producida por la pesquería, sería ideal tratar de revertir la tendencia por medio de una administración apropiada.

### 2.2.2 Aguas continentales

Uno de los grandes problemas encontrados en los sistemas cerrados, especialmente en los trópicos, es la identificación de las especies existentes. En regiones de Africa, Asia y especialmente Sudamérica, se dan grandes cantidades de especies endémicas de distribución muy restringida, muchas de las cuales no están satisfactoriamente descritas. Por ello, un prerrequisito esencial para cualquier programa amplio de preservación de los recursos genéticos, es el estudio taxonómico adecuado de las especies ícticas presentes en cada zona y una lista completa de estas especies, indicando el status de cada una, y, si es posible, su importancia en términos ecológicos, económicos, científicos y sociales. Dichas listas proporcionarían la base para una lista internacional de especies en peligro de extinción que pueden ser consignadas en el "Red Data Book" publicado por la UICN.

A causa de la gran probabilidad de pérdida de diversidad genética en cualquier especie sometida a cultivo (sección 3.4), el mejor método de mantener esta diversidad es mantener poblaciones autosostenibles en habitats naturales. El procedimiento normal sería establecer reservas naturales (lagos, cuencas de ríos, estuarios, lagunas costeras, arrecifes coralinos, etc.) en los que ya existieran una o más poblaciones de las especies ícticas o comunidades mencionadas. Estas reservas podrían ser áreas de objetivos múltiples, en los que se conservaran otros muchos tipos de habitats y comunidades además de los recursos ícticos, por ejemplo, el parque nacional de Sabana Grande, Venezuela.

En algunas ocasiones una especie en particular o su habitat puede estar tan amenazado que la única alternativa es coleccionar muestras de las poblaciones y transferirlas a un sistema de acuicultura, o preferiblemente, a un lugar alternativo adecuado para crear una nueva población. Idealmente este nuevo lugar debería estar dentro de una reserva natural o en una zona donde no reciba presiones producidas por el hombre. Este refugio así creado puede posteriormente ser utilizado para reintroducir la especie al habitat original, si las condiciones mejoran allí. Esta estrategia está siendo utilizada actualmente en Escocia y Canadá (Maitland, 1979) para preservar poblaciones locales del pescado blanco *Coregonus*. Las técnicas de acuicultura pueden ser utilizadas como base para reforzar a corto plazo las poblaciones locales que tengan problemas temporales de reclutamiento.

Por definición, es esencial que las presiones inducidas por el hombre sean estrictamente controladas en cualquier reserva natural. Esto incluye control, no sólo del esfuerzo y de las artes de pesca, de la degradación de la calidad del agua, de barreras a la migración, etc., sino también de la introducción de peces exóticos y de cualquier otra especie que pueda tener un efecto dañino en el ecosistema (ver sección 3.8). El concepto de la vigilancia de la trucha silvestre y de la umbra, como fue propuesto recientemente por Regier y Powers (1979), puede resultar ser útil en la elaboración de proyectos internacionales de monitoreo de especies o grupos importantes de peces.

Una vez que las reservas acuáticas sean establecidas, es absolutamente esencial que se establezca una administración científica para evitar la degradación y pérdidas de la diversidad. En los ecosistemas terrestres, la administración de las reservas naturales es una disciplina nueva y, a menudo, discutible, pero la alta tasa de extinción de las especies de vertebrados en las reservas terrestres requiere la atención inmediata de los administradores y de los consultores (Frankel y Soule, 1981). Los administradores de pesquerías y de reservas acuáticas deberían considerar este problema desde su aparición.

## 3. PRINCIPIOS GENERALES DE LA PRESERVACION DE LOS RECURSOS GENETICOS

### 3.1 La importancia de la variación genética

La variación genética es la materia prima a partir de la cual las diversas poblaciones de una especie se adaptan a los cambios en su medio ambiente. Nuevas variaciones genéticas surgen en el seno de las poblaciones a partir de las mutaciones espontáneas de un gen o por inmigración de individuos de poblaciones distintas genéticamente. Formas

alternativas de un gen particular (o locus) son llamados alelos. El número y abundancia relativa de los alelos en una población es una medida de su variación genética, a menudo llamada "heterocigocidad". La variación genética es una medida de la capacidad de una población para adaptarse a cambios o presiones medioambientales y, por tanto, de sobrevivir.

Los genetistas de poblaciones han tardado varias décadas en establecer la importancia de la variación genética en las poblaciones naturales. Se sabe, por ejemplo, que la respuesta a la selección natural de poblaciones experimentales se acelera cuando existen radiaciones inductoras de mutaciones y/o por la introducción de genes de líneas distintas. En términos de la preservación de los recursos genéticos, podemos esperar que el mantenimiento del máximo nivel de variación genética en una línea sea benéfico, así como el mantenimiento de líneas múltiples que puedan servir como fuentes adicionales de información genética a través de la hibridación. De allí que la pérdida de variación genética por cualquier motivo (por ejemplo, selección prolongada, endogamia, aislamiento) resultará en una pérdida de potencial de adaptabilidad en una población.

Es evidente que los beneficios de la heterocigocidad multigénica son universales en los organismos de reproducción panmíctica (ver Soule, 1980 para una recapitulación). En varios organismos, incluyendo algunas especies ícticas, se ha demostrado que los individuos que poseen la mayor variación genética tienen índices de supervivencia mejores o tasas de crecimiento relativo superiores. Los individuos relativamente heterocigóticos son más resistentes a perturbaciones medioambientales durante el desarrollo. Es claro que las poblaciones genéticamente variables tienen muchas características ventajosas ausentes en las poblaciones empobrecidas genéticamente.

En los últimos años se ha incrementado la evidencia de que existen diferencias bioquímicas entre los alelos de los genes que codifican enzimas metabólicamente relevantes. Estas diferencias bioquímicas dan énfasis a la relación entre la diversidad genética y la funcional. Las propiedades funcionales de diferentes alelos, a menudo reflejan las adaptaciones bioquímicas y genéticas a la existencia en medios ambientes heterogéneos. Hasta qué punto, sin embargo, las variaciones fisiológicas y conductuales a nivel orgánico pueden estar correlacionadas con los datos genéticos y bioquímicos, no está claramente dilucidado. La mayor parte de los especialistas están de acuerdo en que una parte de los polimorfismos proteínicos no tienen efecto directo o medible en la viabilidad o en algún otro rasgo de la adaptación. Sin embargo, existe evidencia notoria proveniente de estudios de genes, de organismos y de poblaciones específicos para fundamentar la importancia de la variación genética en la adaptabilidad poblacional.

### 3.2 Efectos de la endogamia

La selección de un pequeño número de progenitores (sección 4.3) puede reducir la variabilidad genética. Igualmente serio es el hecho que los reproductores puedan ser seleccionados en forma continuada de individuos cercanamente emparentados, tal vez hijos de los mismos progenitores. Esto conlleva a la consanguinidad de generación en generación entre individuos cercanamente emparentados, que, muy a menudo, resulta en homocigocidad de genes desfavorables. El resultado global es la depresión endogámica.

La depresión endogámica es la pérdida de adaptación (por ejemplo, vigor, viabilidad, fecundidad), producida por la pérdida de variación genética debido a la homocigocidad. La evidencia de que la consanguinidad es dañina es muy abundante y virtualmente universal (Allendorf y Utter, 1979; Kincaid, 1976 y 1976a; Kirpichnikov, 1972 y Kosswig, 1973).

Una visión general de los efectos de la consanguinidad y su relación con la conservación de los recursos genéticos puede encontrarse en Soule (1980) y es tratada más extensamente por Frankel y Soule (1981). Citando textualmente al primero: "Una visión global de los experimentos sobre la consanguinidad lleva a la generalización de que el incremento del coeficiente de consanguinidad de 10 por ciento induce una disminución de 5 a 10 por ciento en un rasgo reproductivo particular." Téngase en cuenta que el valor F (coeficiente de consanguinidad; ver sección 4.2) igual a 10 por ciento se aproxima a la cantidad de endogamia que teóricamente se da en una población de cinco adultos reproduciéndose al azar durante una generación, o en una población de 25 adultos reproduciéndose al azar durante cinco generaciones.

Una disminución del 5 al 10 por ciento en la fecundidad puede no parecer muy seria (especialmente cuando se trata de animales tan fecundos como los peces) pero si también se consideran los efectos de la depresión endogámica en otros rasgos, como la viabilidad, en esta cantidad de endogamia puede disminuir el potencial reproductivo total en un 25 por ciento (por ejemplo, en aves y cerdos). Gjedrem (1974) demostró que un incremento en el coeficiente de consanguinidad de 10 por ciento en la trucha arco iris puede resultar en una disminución de 24 por ciento en la viabilidad de los alevinos. Debe notarse que estos efectos independientes son multiplicativos en su impacto en la reproducción y supervivencia total y absoluta. Por lo tanto la conclusión inevitable es que cantidades relativamente pequeñas de consanguinidad pueden producir un daño tremendo en el potencial reproductivo y en la productividad de los stocks de peces.

La depresión endogámica esperada está relacionada con el estado actual de consanguinidad de una población. Por ejemplo, en un lago, una población muy pequeña y aislada de cierto pez, puede tener una alta endogamia debido a su estructura demográfica inherente. La consanguinidad de tal pez no resultaría en una depresión endogámica tan grande como la de un grupo de anterior reproducción panmíctica.

En algunos sistemas de cría (por ejemplo, los que utilizan técnicas ginogenéticas; sección 6.2) la consanguinidad es la meta y la depresión asociada es un resultado esperado, aunque no deseable, para los que pueden ser utilizados programas de cría compensatorios. Utilizando los métodos cuantitativos de Nace *et al.* (1970) y asumiendo una frecuencia de recombinación promedio de aproximadamente 0,1, Nagy *et al.*, (1979) estimaron que una generación ginogenética es igual a 10 ó 12 generaciones de cruzamientos entre hijos de los mismos padres. En muchos otros programas de cría y de selección de reproductores, consideraciones logísticas prácticas y de gestión económica, pueden y han resultado en una selección inadvertida de reproductores que se traduce en una alta consanguinidad. Desafortunadamente, la depresión endogámica, una vez que se ha dado, no es reversible, excepto por la hibridación.

### 3.3 Monitoreo y medición de la variación genética

Existen tecnologías para una evaluación directa de las propiedades genéticas de una población. En algunas especies la base genética de la variación de algún carácter visible (por ejemplo, pautas de coloración) puede establecerse por crías experimentales, y los caracteres, o fenotipos, pueden ser utilizados para evaluar directamente las frecuencias génicas de las poblaciones. Rasgos tales como las pautas de coloración, están controlados ordinariamente por pocos genes (de uno a tres). Como tales, esos genes pueden no ser representativos de la variación genética total o de la estructura poblacional, pero probablemente reflejen la estructura ecológica o social al servir para el reconocimiento de familias o grupos de edades. A pesar de que estos caracteres puedan ser evaluados adecuadamente en una población, muy a menudo pueden proporcionar información engañosa o no representativa sobre la variación genética.

La electroforesis de proteínas ha sido muy utilizada para el estudio directo de la variación genética en las poblaciones ícticas. La relevancia de la electroforesis en el estudio de la genética de peces radica en la posibilidad de estimar directamente las relaciones genéticas a partir de sus resultados, y también a causa de que la variación de genes detectables electroforéticamente está a menudo correlacionada con variación de otros genes. En la medida que tal correlación esté difundida entre las poblaciones ícticas, la variación electroforética puede servir por estimar, en forma general, la variación genética.

El "estado del arte" es utilizar las técnicas electroforéticas para analizar la variación genética en poblaciones naturales porque, entre otras cosas, la variación electroforética es "congruente taxonómicamente" con la variación morfológica en la interpretación de las relaciones filogenéticas y evolutivas (Mickevich y Johnston, 1976). Sin embargo, el uso del análisis de la variación electroforética requiere de algunos conocimientos sobre la acuicultura. En este momento no existe evidencia directa en la literatura que indique que la variación alozímica cualitativa o cuantitativa sea indicadora de potencial de rendimiento económico en caracteres tales como tasas de conversión de alimento, tolerancia a temperaturas extremas, a bajas tensiones de oxígeno disuelto, etc. Por esto, debe tenerse precaución al utilizar los niveles de variación alozímica como el único criterio para elegir stocks de rendimiento deseable fisiológico, nutricional o de otro aspecto relacionado con la producción. Existe evidencia de una correlación entre la variación

electroforética, la variación merística y la estabilidad durante el desarrollo en la naturaleza (Soule, 1980). Es teóricamente posible llegar a utilizar la variación cualitativa como predictora o indicadora de rendimiento cuantitativo en poblaciones de laboratorio o de piscifactorías, pero esto involucra complejos sistemas de cría probablemente más allá del enfoque pragmático de la mayor parte de los acuicultores (Soller, Brody y Genizi, 1976)

Existen circunstancias en las que sería deseable estimar electroforéticamente la variación genómica y utilizar estos datos como información básica para comparar los efectos genéticos de un sistema de cría o explotación particular. Por ejemplo, cuando la explotación de una especie pueda ser prevista, esta información básica previa sobre la variación genética de poblaciones explotadas sería deseable. Esto permitirá hacer evaluaciones directas de las consecuencias genéticas de la explotación por el monitoreo continuado de los stocks o poblaciones sujetos a explotación.

Cuando se considere la reintroducción de una población localmente extinta, la información básica anterior puede permitir la elección del pez más semejante a la población original. Esta elección, basada en semejanza genética, incrementaría la probabilidad de éxito de la reintroducción. Cuando no se cuente con la información básica, como es normalmente el caso, la evaluación genética directa del potencial de los posibles stocks parentales permite una elección adecuada de las poblaciones a introducir. En igualdad de circunstancias, las poblaciones de mayor variación electroforética deberían ser seleccionadas para la introducción, porque probablemente sea mayor la posibilidad de que se puedan adaptar evolutivamente a un nuevo medio ambiente.

Un monitoreo genético similar al de las especies cultivadas sería deseable para evaluar los cambios genéticos que resulten de un esquema de cultivo en particular. Puede ser importante optimizar la exogamia de un stock, en cuyo caso la variación electroforética sería una herramienta importante para vigilar el programa de cría.

Existen ciertos riesgos asociados con la falta de monitoreo genético. En el sudoeste de Estados Unidos, un importante programa de cría fue emprendido hace algunos años, a fin de producir machos estériles del gusano barrenador para ser introducidos en las poblaciones silvestres (Bush, Neck y Kitto, 1976). En el transcurso del programa, un alelo particular de un gen detectable electroforéticamente del d-glicerofosfato deshidrogenasa, fue accidentalmente seleccionado probablemente por selección natural en la población cultivada. Esta enzima es importante en el metabolismo asociado con el vuelo. Las propiedades del alelo seleccionado iban contra el vuelo en condiciones silvestres de los machos estériles introducidos. El conocimiento de las propiedades bioquímicas de los alelos y el monitoreo electroforético podrían haber evitado esta situación desafortunada.

No se quiere implicar o recomendar que cada pez sujeto a explotación o cada stock cultivado sea monitoreado de esta manera. No sólo sería caro, sino que probablemente los datos no serían tan útiles, a menos que se contara con un proyecto y control muy cuidadosos. Lo que sí se sugiere es que se establezcan varios programas de monitoreo cuidadosamente proyectados y que estos se coordinen, a fin de optimizar su utilidad.

### 3.4 La estructura genética de una población en relación a la explotación y extinción

Los peces probablemente sobrepasen a los demás grupos de vertebrados en la variedad de sus estructuras sociales y de sus ciclos de vida. No es sorprendente que, por tanto, se hayan suscitado controversias sobre la importancia de variables tales como estructura poblacional, dispersión y deriva génica, particularmente en relación con la integridad genética de las poblaciones. En un extremo están poblaciones de especies, como la anguila americana, en las que los adultos están dispersos sobre miles de kilómetros y, sin embargo, se comportan aparentemente como sencillas poblaciones de reproducción panmíctica. En el otro extremo hay cientos de especies territoriales cuyos huevos demersales cuentan con protección parental y son de muy limitada vagilidad. En especies de este tipo, con estructura poblacional fragmentada y localizada, el tamaño de las poblaciones vecinas o de las poblaciones locales puede ser tan pequeño como 100, y puede existir un flujo genético sumamente reducido entre dos poblaciones contiguas. Como consecuencia de esta diversidad, es peligroso generalizar sobre características demográficas, geográficas y de la estructura genética de los peces. Cada especie debe ser examinada como un caso único, y aún reconociendo la posibilidad de variación intraespecífica en la estructura poblacional.

En la administración de las pesquerías, un conocimiento adecuado de la estructura poblacional difícilmente puede ser exagerado, ya sea que el objetivo de la administración sea la explotación, ya sea la preservación o ambos (como debe ser muchas veces el caso). Sólo cuando los stocks están adecuadamente caracterizados las pesquerías pueden ser administradas óptimamente. Por ejemplo, se podría hipotéticamente decidir reforzar artificialmente las pesquerías del salmón rosado introduciendo crías provenientes de piscifactorías. Pero, a menos que se conozca que las poblaciones de salmón rosado originadas en un año par y las de año non son genéticamente distintas, la hibridación resultante podría producir un importante cambio genético y disminuir la adaptación de los stocks de año par y los de año non.

Aun especies simpátricas muy cercanas pueden tener estructuras poblacionales muy distintas, y es peligroso generalizar de una a la otra (Allendorf y Utter, 1979). En la trucha arco iris en el Pacífico nororiental, los datos genéticos diferencian las poblaciones en los grupos orientales y occidentales, coincidiendo la división mayor con las cumbres de las montañas Cascade. Muchos investigadores anteriores habían llegado a la conclusión de que las principales bases de separación genética en las poblaciones de trucha arco iris eran la anadromía y el tiempo de retorno al agua dulce. Allendorf y Utter, sin embargo, dan énfasis a que las unidades taxonómicas basadas en datos electroforéticos corresponden más con los agrupamientos geográficos que con las características de comportamiento mencionadas antes, y dan énfasis a la importancia de las glaciaciones para dividir históricamente estas poblaciones.

Sin embargo, no se considera que las glaciaciones hayan tenido un papel importante en la subdivisión actual de las poblaciones del salmón plateado en el Pacífico noroccidental. La distribución discontinua de algunos alelos de las transferencias, entre las poblaciones del salmón rosado no pueden ser explicadas en base a los eventos glaciales.

En el salmón rey, las poblaciones costeras son genéticamente diferentes de las poblaciones continentales en Oregon y Washington, pero la línea de demarcación geográfica es diferente de la de la trucha arco iris. Esta información tiene gran posibilidad de ser utilizada en la administración porque podría permitir la determinación de las zonas más importantes de origen de los peces capturados en alta mar.

De aquí que no exista correspondencia alguna entre la distribución geográfica de las poblaciones racialmente distintas de estas tres especies cercanamente relacionadas, ya que las barreras geográficas que separan las subpoblaciones de una especie de salmónidos no son importantes para otra. En la administración de estas especies sería desastroso hacer generalizaciones basadas en la distribución de las poblaciones de una especie y aplicarlas a otra.

La estructura de las poblaciones es por esto una guía útil para establecer *a priori* prioridades en lo relativo a la preservación de los recursos genéticos, por lo menos en lo relacionado con la posible extinción de poblaciones locales. El ámbito geográfico tomado individualmente es muy útil. La mayoría de las especies que se reproducen en estuarios, sistemas fluviales en las zonas templadas y en las zonas pelágicas de la costa están por lo general ampliamente distribuidas y son muy numerosas. Las especies que viven en ríos tropicales de anegamiento y en medios ambientes extremos como los lagos desérticos someros y los lagos salados, pueden ser mucho menos numerosas y típicamente tienen un ámbito de distribución geográfica limitada.

Muchas especies locales son relativamente vulnerables a la disrupción del habitat, desde el punto de vista de la conservación biológica y de la preservación de los recursos genéticos. Las especies que están distribuidas ampliamente y son relativamente numerosas requieren menos atención que las especies con una distribución muy limitada y poblaciones pequeñas. Con ello no se quiere implicar tampoco que el empobrecimiento genético sea sólo un peligro para las poblaciones endémicas locales.

La posibilidad del empobrecimiento puede ser muy alta para unidades reproductivas individuales de especies de distribución amplia. La distinción obvia entre los dos casos es que la extinción de un grupo endémico no puede ser revertida, mientras que la recolonización de un habitat reproductivo después de la pérdida de una especie de distribución amplia, es posible. Por ejemplo, la sardina japonesa *Sardinops melanosticta* después de

un colapso poblacional y de la contracción del ámbito de distribución, ha recolonizado el mar de Japón a partir de refugios en la costa oriental de Japón. Otro ejemplo es la exitosa reintroducción artificial del samón del Atlántico en pequeños ríos costeros en el noreste de Estados Unidos.

En este último caso, las características genéticas de la población de reemplazo deberían constituir una seria preocupación (sección 6.4). Por ejemplo, deficiencias en tomar en cuenta adaptaciones ecológicas particulares de los stocks de reemplazo o de refuerzo, han producido serios problemas de administración en la codorniz de mechón blanco (Clarke, 1954). En Escandinavia algunas introducciones de la umbra ártica y del pescado blanco *Coregonus* en lagos habitados por poblaciones conespecíficas, han tenido consecuencias dañinas (Svårdson, 1979).

Aunque la cuestión de si una población que ha recolonizado natural o artificialmente llega a adaptarse tan bien como el stock original, es un punto a discutir y resolver, es imperativo optimizar las oportunidades de recolonización o refuerzo de las poblaciones, tomando en cuenta todas las variables genéticas y ecológicas.

#### 4. CRITERIOS SOBRE LOS TAMAÑOS MINIMOS DE POBLACION

##### 4.1 Criterios y escalas temporales

El establecimiento de tamaños mínimos viables de población es una de las principales metas de la preservación genética. Al llegar a tales tamaños es necesario considerar todos los aspectos de la biología de la especie involucrada, no únicamente el genético. Otros criterios importantes son la demografía y el ciclo de vida de la especie y algunas variables ecológicas, como por ejemplo, la probabilidad y severidad de una catástrofe eventual.

Muy pocas generalizaciones pueden hacerse sobre este último tema porque la naturaleza y consecuencias de una catástrofe dependen mucho del ciclo de vida de la especie y particularmente del medio en que vive. Por ejemplo, los peces que viven en cuerpos de aguas someros en regiones sujetas a sequías extremas tienen una probabilidad mayor de extinción. Además pueden tener que pasar por cuellos de botella con mayor frecuencia (ver sección 4.3). En el otro extremo, las especies de las profundidades del mar tienen poca probabilidad de estar expuestas a eventos físicos que ocasionen un colapso en el tamaño de la población.

Si existe suficiente información demográfica, se pueden hacer estimaciones del tamaño mínimo viable poblacional de una especie. Pero aún cuando la información demográfica está disponible, el punto de vista genético es relevante y puede ser la consideración concluyente, asumiendo que los tamaños basados en criterios genéticos sean menores que los basados en criterios demográficos o ecológicos.

La "escala de tiempo de la supervivencia" es un método útil para estructurar una discusión sobre la preservación de la variación genética. Algo arbitrariamente existen tres problemas o asuntos:

- (1) el problema a corto plazo que es la salud física inmediata, el mantenimiento del vigor y fecundidad durante el transcurso de una operación, normalmente en medios ambientes artificiales, tales como la cría a partir de stocks de peces domesticados o semidomesticados. (Si se espera que la cría se continúe durante más de  $N_e$  (ver sección 4.2) generaciones, el programa se convierte en una operación a largo plazo);
- (2) el problema a largo plazo que es la adaptación, la persistencia del vigor y adaptabilidad evolutiva de una población frente a un medio ambiente cambiante;
- (3) el tercer asunto es la evolución en su sentido más amplio, o sea la especiación, o la creación de novedades evolutivas (Soule, 1980). Para nuestros fines, el primer y segundo asuntos son más relevantes que el tercero.

De las discusiones anteriores sobre la heterocigocidad y la endogamia en las poblaciones cautivas y naturales (ver sección 3) se puede concluir que una pérdida excesiva de variabilidad genética, particularmente por consanguinidad, puede y debe ser evitada. Este problema, sin embargo es de naturaleza cuantitativa y las discusiones cualitativas anteriores no son del todo útiles para proporcionar guías específicas para el cálculo de los tamaños mínimos viables poblacionales. Debemos examinar este punto en mayor detalle.

#### 4.2 Supervivencia de poblaciones en cautiverio

Las poblaciones en cautiverio mostrarán tendencia a ser pequeñas y estarán potencialmente sujetas a los efectos adversos de la consanguinidad. Por prueba y error, los criadores de animales han descubierto la magnitud de la endogamia que puede ser tolerada por los animales domésticos antes que las líneas muestren deterioro en su salud física. (Al discutir consanguinidad, es conveniente utilizar el coeficiente de endogamia o de consanguinidad,  $F$ , que es una medida cuantitativa de la magnitud de la consanguinidad. En una población de reproducción totalmente exogámica,  $F = 0$ . Para una población totalmente endogámica,  $F = 1,0$ ).

Como regla general la tasa de endogamia por generación no debe ser mayor de uno a tres por ciento (Franklin, 1980; Soule, 1980). Tasas mayores fijan genes recesivos deletéreos más rápidamente que lo que la selección los pueda eliminar, y el vigor y la fertilidad de la línea decrecen.

La tasa de endogamia inferior, la de uno por ciento ( $F = 0,01$ ) es preferible porque:

- (1) los stocks de mamíferos que han sido parcialmente purgados de genes dañinos a través de los siglos, pueden tolerar mayores tasas de endogamia que las especies silvestres exogámicas;
- (2) los criadores de animales pueden sin riesgo permitir cierto grado de endogamia y de pérdida fortuita de genes. En contraste los conservacionistas desean preservar los "tipos silvestres".

¿Cómo se refleja esta regla básica del uno por ciento en el tamaño de la población? La tasa de pérdida de heterocigocidad por generación debida a la endogamia medida por  $F$  es igual a  $1/(2N_e)$  donde  $N_e$  es el tamaño efectivo de población. El "tamaño efectivo de la población" es el tamaño de una población ideal. La definición de  $N_e$  es difícil, pero la población debe tener igual proporción de sexos y los individuos deben aparearse fortuitamente. Pueden mencionarse otras características ideales adicionales. Para nuestros objetivos, es importante mencionar que en la práctica  $N_e$  es casi siempre menor que el número real de individuos reproductores). Por lo tanto  $N_e$  debe ser igual, por lo menos, a 50, si la tasa de endogamia debe ser mantenida abajo del nivel del uno por ciento.

Sin embargo, cuando la  $F = 0,01$  la pérdida de variación genética es apreciable después de pocas generaciones y no puede evitarse una disminución gradual de variación genética. En el futuro, la población será virtualmente homocigótica, dependiendo el tiempo en que esto se dé, del tamaño de la población  $N_e$ . Por esto la regla del uno por ciento debe ser considerada como un criterio a corto plazo. Una población mantenida a un  $N_e = 50$ , perderá aproximadamente una cuarta parte de su variación genética después de 20 a 30 generaciones, y junto con ella, gran parte de su capacidad para adaptarse a las condiciones cambiantes. Por lo tanto, si se desea mantener un stock particular por más tiempo será necesario incrementar su  $N_e$ . Una estimación aproximada de  $G$  es casi igual a  $N_e$ , siendo  $G$  el número de generaciones que la población probablemente retenga su adaptación en un nivel relativamente alto.

La información anterior es necesaria, aunque no suficiente, para que el conservacionista o el biólogo pesquero logre la aptitud física a corto plazo en las poblaciones de peces en cautiverio. La razón es que el tamaño efectivo de población no es un fenómeno independiente y está afectado en gran medida por la variación en la proporción de sexos, por el tamaño de la población a través del tiempo, por la distribución no fortuita de la progenie entre familias y por otros aspectos del sistema de cría. En la medida que cualquiera de estos efectos se den, se debe mantener un tamaño absoluto mayor de la población para alcanzar el  $N_e$  deseado. En la sección 4.3 se resumen estos factores de complejidad.

#### 4.3 Influencias poblacionales en el tamaño efectivo de la población

Cuando las poblaciones disminuyen o están a punto de desaparecer, los sobrevivientes forman un cuello de botella genético en la historia y evolución de la población. Cualquier desviación en la estructura genética de estos sobrevivientes del acervo genético de la población original será reflejada en las generaciones futuras. Más específicamente, si el acervo genético de los progenitores es menos diversificado que el que existía en la población original, las generaciones subsecuentes tendrán un déficit en la diversidad genética.

Los tamaños mínimos de población muy pequeños, debido a fluctuaciones normales y a cambios medioambientales o a catástrofes, disminuyen la variabilidad genética de la población fundadora. Los cuellos de botella acompañan inevitablemente el establecimiento de un stock en cautiverio con propósito de crianza.

El evitar que exista mayor erosión genética o lograr que se recobre el nivel original de variación genética depende mucho de la velocidad con que la población alcance un tamaño moderado de varios cientos o más. Si una población en reserva está sujeta a fluctuaciones en número (como es a menudo el caso) la influencia del tamaño mínimo absoluto en el tamaño efectivo de la población es más importante para la preservación de la diversidad genética que el tamaño absoluto promedio.

La pérdida de variabilidad genética que acompaña al evento de cuello de botella tiene aspectos cualitativos y cuantitativos. Cualitativamente pueden perderse alelos específicos y será poco probable que puedan aparecer de nuevo por mutación mientras la población permanezca pequeña. Cuantitativamente, la variabilidad de rasgos específicos se reducirá. Las matemáticas de la pérdida de la varianza de rasgos cuantitativos ha sido descrita por Falconer (1960) y otros. El efecto cualitativo es normalmente mayor que el cuantitativo: esto es, la pérdida de alelos, especialmente de alelos poco frecuentes, es mucho mayor que la pérdida de la varianza genética *per se*. Incidentalmente, varios investigadores han hecho notar que el número de individuos fundadores en una colonia, mientras sea mayor de aproximadamente cinco individuos, no es ni cercanamente tan importante como el mantenimiento a largo plazo del tamaño de la colonia (Nei, Maruyama y Chakraborty, 1975; Deniston, 1978). Esto es, en un evento de cuello de botella seguido por un crecimiento rápido a un tamaño grande de, digamos  $2N_e$  mayor que 500, hace relativamente poco daño comparado con un  $N_e$  crónicamente pequeño.

Se sabe a partir de experimentos de resistencia a los pesticidas en artrópodos que algunos alelos que se dan en muy bajas frecuencias en las poblaciones naturales (y que probablemente sean perdidos durante un cuello de botella) pueden ser muy importantes. Tales alelos pueden significar la diferencia entre la supervivencia y la extinción. Lo mismo probablemente sea aplicable a los genes de resistencia en general. Por ello, parecería que las poblaciones de peces que sufran un cuello de botella puedan no ser afectadas notoriamente, hasta que una epidemia afecte a la población. Sólo entonces la pérdida de estos genes de resistencia sería detectable.

Varios factores adicionales determinan el  $N_e$ . Entre estos está la proporción de sexos:  $N_e$  disminuye por desviaciones de una proporción igual de sexos. Otra de las características de las poblaciones ideales genéticamente, es que el número de prole se encuentre uniformemente distribuido entre las diferentes familias. Cuando esta condición no se cumple, por ejemplo, cuando la prole de unas pocas familias es notoriamente mayor,  $N_e$  disminuirá. Toca a las personas que manejan las poblaciones en cautiverio con fines de conservación o de cultivo, tener cuidado de estos efectos y mantener un  $N_e$  tal que mantenga la salud y adaptación de sus stocks. En algunos casos sería oportuno consultar a un genetista de poblaciones, especialmente si el criador tiene dudas sobre la estimación de  $N_e$ .

#### 4.4 El mantenimiento a largo plazo de la adaptación

La preservación a largo plazo requiere tamaños de población mayores, suficientemente grandes para que se mantenga el equilibrio entre la pérdida de variabilidad genética debida a la deriva y a la selección, y su generación a través de mutaciones. Cuando el  $2N_e$  es un número grande, digamos mayor que 500 ó 1 000, el efecto de la deriva será despreciable comparado con el de la selección débil. Cuando  $2N_e$  es pequeño, digamos menos que 100, el

efecto del azar en las frecuencias génicas de las generaciones no sólo fijará muchos loci, sino que también irá en contra de todas las fuerzas determinísticas, particularmente la selección direccional, evitando por ello la adaptación por selección natural.

Podría considerarse que las consecuencias de un tamaño de población pequeño son irrelevantes cuando se trata de la genética de los peces en una reserva acuática o en un ecosistema similar. Sin embargo, siempre existirán algunas poblaciones en los ecosistemas naturales, particularmente los depredadores mayores, que son pequeñas en número (tales como los pargos de un atolón o los lucios de un lago). La pérdida de estos depredadores, fundamentales en una comunidad natural, puede tener serios efectos sobre la diversidad de las especies depredadas, como ha sido documentado por una gran cantidad de investigadores, particularmente en sistemas de invertebrados marinos (Paine, 1966; Harper, 1969).

Franklin (1980) arguye que un tamaño efectivo mínimo de 50 es necesario para preservar la variación genética útil, por lo siguiente:

- (1) los rasgos fenotípicos relevantes en la conservación, son cuantitativos (poligénicos). El efecto promedio de un gen es pequeño en dichos rasgos, y la mayor parte de la variación genética es aditiva;
- (2) la selección estabilizadora o direccional débil no erosiona en forma notoria la variación genética aditiva;
- (3) las fuerzas evolutivas más importantes, por lo tanto, son la mutación y la deriva génica. Esto es, si la población está bajo un tamaño umbral, pierde variación por la deriva a una tasa más rápida de lo que la gana por mutación.

Franklin deriva su número del trabajo de Lande (1976) sobre la variación del número de cerdas en *Drosophila*. Esta evidencia no es concluyente, sin embargo, Franklin cree que su número (500) está cercano al orden de magnitud correcto. También la teoría pura da este número como se mencionó anteriormente.

Es necesario advertir de nuevo que el empleo de cualquier número está sujeto a las mismas condiciones dadas en la sección precedente sobre la preservación a corto plazo, esto es, que cualquier tamaño efectivo se traduce en un número mucho mayor de adultos reproductores cuando se trata de poblaciones reales, no ideales. Además, esta recomendación no considera las diferencias genéticas entre especies. Varias interrogantes similares sobre la conservación deben ser consideradas casuísticamente.

## 5. LOS COMPONENTES DEL EMPOBRECIMIENTO GENETICO EN LAS POBLACIONES DE PECES

Las actividades humanas pueden producir la erosión de la variación genética y la extinción de los peces a través de varios mecanismos como los siguientes:

- (1) la contaminación y otros cambios del medio que ponen en tensión a una población y causan mortalidad diferencial, extinción o ambos;
- (2) la presión de pesca que puede favorecer algunos genotipos sobre otros;
- (3) la selección artificial y la domesticación que pueden resultar en consanguinidad y empobrecimiento genético, consciente o inconscientemente;
- (4) la introducción de especies exóticas y de enfermedades.

En esta sección los factores anteriores son recapitulados a la luz de experiencias recientes en las pesquerías y en la acuicultura.

### 5.1 Efectos de la contaminación y otros factores de tensión

Diferentes tipos de contaminación (por ejemplo, la eutroficación, toxinas tales como el mercurio, el DDT, PCB) han tenido efectos desastrosos en muchas comunidades ícticas. En la mayor parte de los países occidentales, la detección de toxinas en ciertas especies de peces, las ha hecho no aptas para el consumo humano. En algunos casos la legislación

ha tenido éxito para revertir la situación. Por ejemplo, una gran parte del lago Vänern, Suecia (el tercer lago en tamaño en Europa) fue puesta en la lista negra, pero la situación ha mejorado por la modificación de los procedimientos de purificación del agua de los molinos de papel.

El problema más importante en Escandinavia y otros lugares, ha sido la lluvia ácida ( $\text{SO}_2$ ) proveniente de industrias que utilizan combustibles fósiles como fuente de energía. Por ejemplo, grandes porciones del sur de Noruega y del sudoeste de Suecia han perdido casi todos sus peces debido a lluvias ácidas originadas en Gran Bretaña y en la República Federal de Alemania. Las especies de peces difieren en su respuesta a la acidificación. El bermejuelo (*Leuciscus rutilus*) y la mayor parte de los salmónidos son extremadamente sensibles a la disminución del pH. Se ha intentado añadir cal como un agente de "respiración artificial" (SKr 1 millón al año, en Suecia), pero es obvio que este problema no puede ser resuelto sin algún tipo de negociación internacional. Varias poblaciones de trucha alpina se han extinguido recientemente debido a su sensibilidad. El efecto primario de la acidificación se da aparentemente en las etapas reproductivas tempranas.

La contaminación por nutrientes (especialmente  $\text{PO}_4$ ) provenientes de las comunidades humanas ha sido más desastrosa en las regiones densamente pobladas en las zonas templada, subtropical y tropical. A pesar de ello en las regiones árticas o alpinas con medios ambientes extremadamente oligotróficos, la eutroficación por adición de nutrientes, ha sido promovida como un método de incrementar la productividad. Esto está siendo estudiado experimentalmente en Escandinavia, así como en Canadá (Milbrink y Holmgren, 1981; Schindler y Fee, 1974).

En algunos casos, la "contaminación nutricional", ha sido tratada exitosamente. En todos estos casos la construcción de plantas de purificación ha producido un mejoramiento significativo de la calidad del agua. En el lago Washington (EE.UU.) las vías a las zonas de desove del salmón del Pacífico han sido restauradas actualmente, y nuevamente se produce el desove natural. De la misma manera, existe una recolonización natural de las especies nativas del bajo Támesis en Inglaterra. La construcción de plantas de purificación en todas las comunidades alrededor del lago Malaren en Suecia ha hecho posible reintroducir el salmón del Báltico y la trucha parda en un curso de agua que pasa a través de Estocolmo.

La construcción de plantas de energía hidroeléctrica también ha afectado a las poblaciones de peces de lagos represados y de las porciones de ríos entre las plantas de energía. Una observación importante en las aguas escandinavas es que existen subpoblaciones de salmónidos que son afectadas de diferente modo. Por ejemplo, la trucha parda está a menudo representada por poblaciones diferentes en sitios distintos dentro de un mismo río, aparentemente con poca cruce interpoblacional. Durante la construcción de las presas, las poblaciones que desovan en la zona de la desembocadura se extinguen. La trucha alpina y el pescado blanco corégono están a menudo representados por dos o más poblaciones distintas, que son afectadas de manera diferentes. Globalmente, las poblaciones pelágicas son menos afectadas que las bentónicas.

Quedan sólo unos pocos ríos en Suecia donde se lleva a cabo el desove natural del salmón. La mayoría del salmón del Báltico proviene de las piscifactorías suecas. Las poblaciones liberadas han sido cuidadosamente seleccionadas para que representen stocks nativos originales. Sin embargo, hay evidencias de un cambio genético, tendiente a menor tamaño y maduración temprana, lo que es probablemente un efecto de la sobrepesca.

Las poblaciones continentales del salmón del lago Vänern están representadas por dos subpoblaciones que no parece se intercrucan. Estas son el salmón "Klarälven" que pasa tres años en el río Klarälven y regresa a desovar después de tres o cuatro años, y el salmón "Gullspängsälven" que pasa dos años en este río y regresa al lago después de cuatro o cinco años. Las tasas de crecimiento de las dos poblaciones son notoriamente distintas. Experimentos de marcaje de las crías procedentes de las piscifactorías han mostrado que después de 40 meses en el lago, el salmón de Gullspängsälven alcanza un peso de 5 kg, mientras que el salmón de Klarälven alcanza sólo 2,5 kg. También están separados especialmente durante su vida en el lago, sugiriendo una capacidad innata de crecimiento y de selección de habitat.

Ambas poblaciones están en peligro de extinción (figura 1), principalmente debido al desarrollo hidroeléctrico. La población de crecimiento rápido del río Gullspångsälven está muy próxima a la extinción, pero se están realizando esfuerzos para salvarla a través de la cría en piscifactorías y de su introducción en otros lagos.

## 5.2 Efectos de la pesca

La sobrepesca del salmón del Báltico ha resultado en un crecimiento más lento, tamaño menor en la madurez y regreso temprano a los sitios de reproducción. Resultados muy parecidos fueron obtenidos por Gwahaba (1973) en el caso de *Tilapia nilotica* en el lago George, Uganda (figura 2), quien afirmó que el tamaño restringido de las zonas de cría, las tormentas que mataban los peces y la depredación, han sido los factores de la disminución de la propagación, pero que el aumento de la pesquería comercial fue la razón principal de los cambios.

Turner (1976) menciona otro caso de modificación del ecosistema debido a la pesca intensiva de los cíclidos del lago Malawí. Mientras que en un principio la pesca estaba constituida principalmente por especies mayores, en la actualidad predominan las especies pequeñas. Este ejemplo muestra dramáticamente los efectos de la sobrepesca sobre una comunidad íctica integral. Se puede predecir que si se continúa pescando con redes no adecuadas, las especies mayores pueden estar amenazadas de extinción, en parte porque los estadios más pequeños de las especies mayores compiten en desventaja con las etapas adultas de peces pequeños de especies más abundantes.

Observaciones semejantes fueron hechas comparando poblaciones diferentes de la trucha alpina ártica, que se encuentran sujetas a diferentes tasas de explotación. La figura 3 ilustra que la población de crecimiento estimado más rápido madura antes que la de crecimiento lento, no explotada (Nilsson y Filipsson, 1971). En este caso la diferencia está sin duda determinada genéticamente (Nyman, 1972).

## 5.3 Efectos de las especies exóticas de peces

### 5.3.1 Introducción activa de peces como alimento

Desde el principio de la década de los setenta, mucha información se ha acumulado sobre las serias consecuencias de las introducciones de peces exóticos de otros lugares sobre la fauna nativa (por ejemplo, Walford y Wicklund, 1973). Por ejemplo, muchos lagos originados por desglaciación, previamente sin peces, fueron dotados de peces por el pueblo lapón en Escandinavia, y por los indios y por los colonizadores europeos en Norteamérica. A medida que la tecnología de las piscifactorías ha mejorado, la práctica se ha extendido.

La frecuencia de tales introducciones se ha incrementado en años recientes. De acuerdo a Everett (1973), la trucha arco iris (*Salmo gairdneri*) fue introducida en la cuenca del lago Titicaca en Perú y Bolivia en 1942. En la década de los cincuenta, las siguientes especies de trucha también fueron introducidas: *S. trutta*, *Salvelinus fontinalis*, *S. namaycush* y el aterínido *Basilichthys bonariensis* (Villwock, 1972). En 1972 dos de las especies más valiosas (y mayores) del género endémico *Orestias* del lago Titicaca prácticamente se extinguieron por la depredación o la competencia por alimento con las especies de truchas. Los parásitos esporozoarios que fueron introducidos pasivamente junto con las especies exóticas explican la drástica disminución de la mayoría de las especies endémicas de *Orestias* (Frey, 1975).

Otro ejemplo bien conocido es el del lago Lanao en la isla de Mindanao en las Filipinas. De acuerdo a Villaluz (1966: citado por Frey, 1969) personal de la Universidad Estatal de Marawi City en Mindanao, introdujo *Clarias batrachus* (Siluridae), *Ophicephalus striatus* (Ophiocephalidae) y *Tilapia mossambica* (Cichlidae). Aun más seria fue la simultánea introducción accidental de *Glossogobius giurus* (Gobiidae). De acuerdo a Frey, por lo menos algunas especies bentónicas y pelágicas del género endémico *Barbodes* (Puntius), se han vuelto muy escasas como lo muestra su virtual desaparición de las pescaderías locales.

Estos dos grupos de especies, el *Orestias* endémico del lago Titicaca y el *Barbodes* del lago Lanao eran los principales recursos económicos y nutricionales de los residentes. Estos no pueden ser reemplazados por las especies introducidas (Villwock, 1972) porque no son fácilmente aceptadas por la población local. Los efectos sobre los recursos genéticos

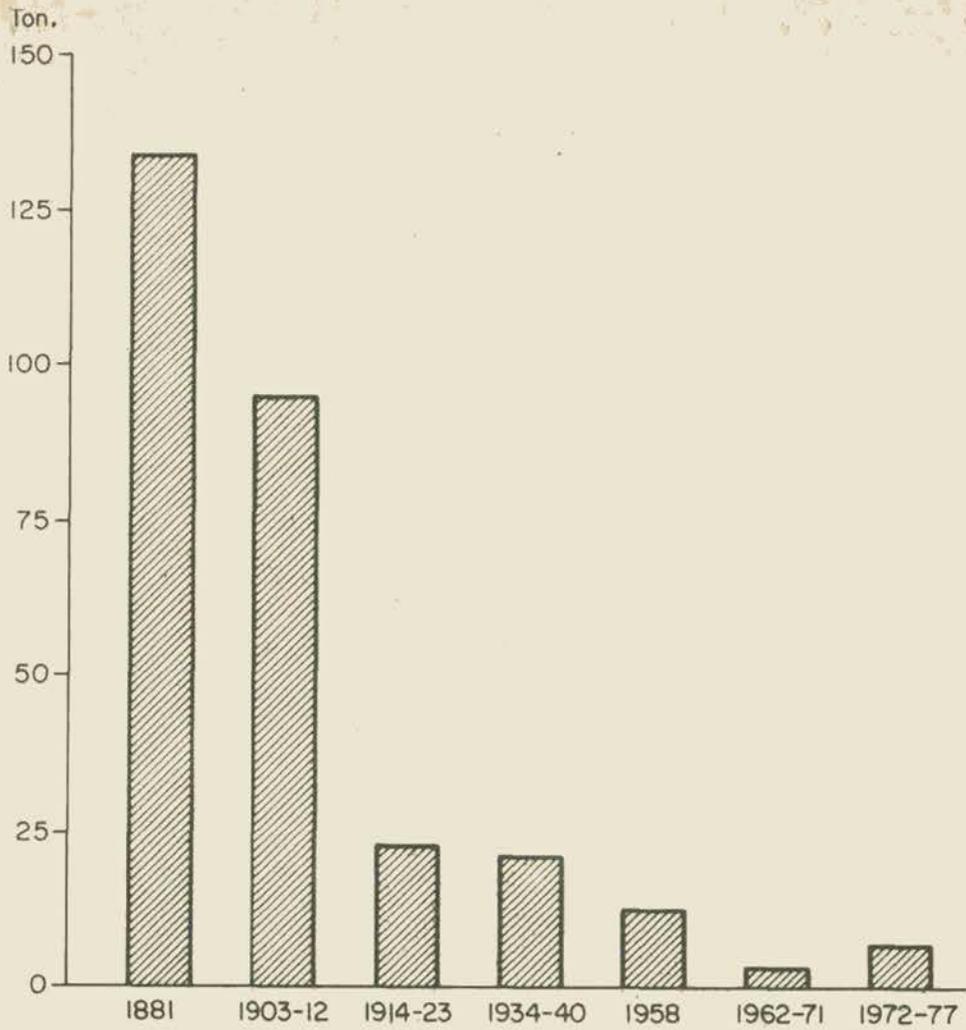


Figura 1 Capturas de salmón en las aguas continentales del Lago Vänern, Suecia, de 1881 a 1977 (Nilsson, 1979)

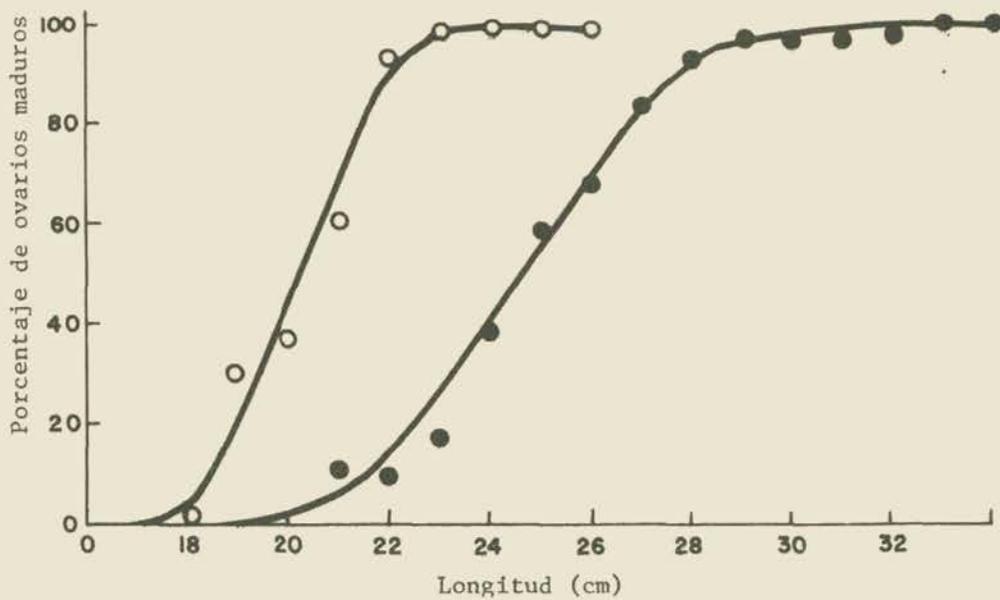


Figura 2 Porcentaje de hembras de *Tilapia nilotica* con ovarios maduros a diferentes longitudes. La curva de madurez para el estudio de 1971 (o) es comparado con el elaborado anteriormente por Fry y Kimsey (1960) (●)

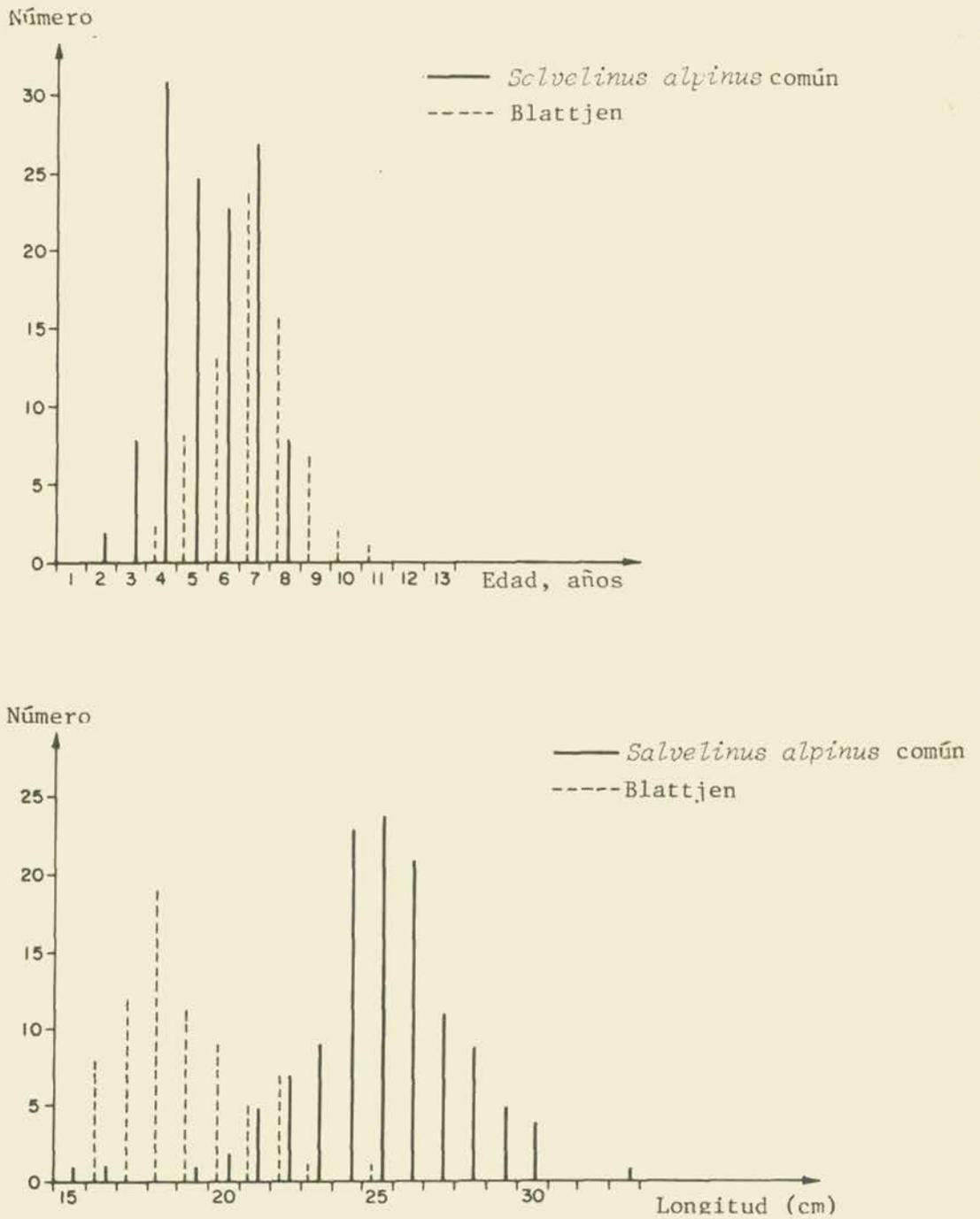


Figura 3 Diferencias en edad y longitud entre dos poblaciones de *Salvelinus alpinus* en madurez, en el lago Ovre Bjorkvattnet, Suecia. El *Salvelinus alpinus* común crece más rápidamente y es más explotado (Nilsson y Filipsson, 1971).

de las especies endémicas de *Orestias* o *Barbodes* son irreversibles. Algunas especies están evidentemente extintas y aún aquellas que hayan podido sobrevivir probablemente se han visto disminuidas a una o pocas poblaciones pequeñas y muy dispersas.

### 5.3.2 Introducciones de peces deportivos y ornamentales

Los pescadores deportivos y los acuaristas han sido responsables de numerosas introducciones que han originado cambios detrimentales en la fauna nativa. Se ha demostrado en estudios llevados a cabo en Escocia y Escandinavia que las especies nativas pueden extinguirse por competencia ecológica con especies exóticas. Por ejemplo, Svårdson (1979) describió el efecto de la introducción del pescado blanco corégono y la subsecuente extinción de *Salvelinus alpinus* en Escandinavia. Como resultado de la competencia entre las dos formas, mostrado en la figura 4, la talla en la edad madura, edad, peso y volumen de pesca con red agallera de la trucha alpina disminuyó continuamente resultando en su virtual extinción alrededor de 1965 (Nilsson, 1967).

La hibridación entre especies nativas y especies emparentadas introducidas (Svårdson, 1979; Moyle, 1976) también ha presentado serias consecuencias en los recursos genéticos. En la segunda mitad del siglo XIX, diferentes especies de truchas fueron introducidas en California, haciendo más confusa la compleja situación de la fauna nativa de truchas (Hoopaugh, 1974: citado por Moyle, 1976). Eventos similares han sido mencionados por Moyle (1976) para especies de *Gila* y de *Gasterosteus*. El resultado más frecuente es la invasión genética de las especies nativas. El gran número de hibridaciones de que se tiene noticia en Florida fueron producidas por acuaristas o por la industria de peces de acuario (Courtenay *et al.*, 1974). Veinte especies exóticas y cinco poblaciones híbridas se han establecido como poblaciones reproductivas.

### 5.3.3 Introducciones para el control de las malas hierbas y de los insectos

Moyle (1974) informó acerca de las introducciones de peces en California para combatir las hierbas e insectos. Además de varias gambusias (*Gasterosteus*) y de dos especies de *Tilapia* (*T. Mossambica* y *T. zillii*), el pejerrey (*Menidia aureus*, Atherinidae) fue introducido ilegalmente en 1967. Desde entonces se ha convertido en la especie más abundante y extendida. Las *Tilapia* y las *Menidia* han alterado la abundancia relativa de los diferentes peces y el número total de organismos zooplanctónicos a los cuales los peces nativos estaban muy adaptados. Sin embargo, es difícil predecir las consecuencias finales para las especies nativas.

La competencia por alimento y la depredación de las larvas de especies nativas por parte de los peces exóticos han llevado a menudo a la extinción. En menos de una década las gambusias y *Mollinesia*, introducidas en el sur de Europa y norte de Africa, fueron responsables de la disminución de la población nativa de *Aphanius* sp. (Cyprinodontidae) (Villwock, 1977 y datos no publicados). De forma similar el género *Cyprinodon* del sistema del río Colorado está amenazado por la competencia de los peces vivíparos introducidos.

### 5.3.4 Introducciones accidentales

Las introducciones accidentales se han dado de varias formas. Entre estas están las redes sucias ("contaminación por huevos") y el escape de carnada (Johannes y Larkin, 1961). Otro peligro es representado por el escape de especies exóticas de tanques de acuicultura, por ejemplo, a través de inundaciones durante la temporada de lluvias. Introducciones accidentales se han producido también a través de canales o túneles utilizados para la navegación y para plantas de energía. El caso más famoso es el de la lamprea marina (*Petromyzon marinus*) presente en aguas continentales interiores, que penetró en los Grandes Lagos Superiores a través del Canal Welland. Movimientos similares se han dado en el mar Mediterráneo desde la apertura del Canal de Suez.

### 5.3.5 Consecuencias biológicas de las introducciones

Muchas introducciones han sido económica y estéticamente exitosas. Por ejemplo, la mayor parte del salmón norteamericano, así como la lobina negra han sido introducidos en aguas dulces europeas y varias especies de *Oncorhynchus* en las aguas marinas del norte de Rusia y en el Báltico. El "kokanee" (*Oncorhynchus nerka*) ha sido introducido en aguas

dulces de Escandinavia. A pesar de que la mayor parte de estas introducciones han fallado, la lobina negra en Alemania, y la trucha arco iris en Gran Bretaña se han establecido exitosamente. La trucha parda y la carpa europea se han introducido en América del Norte, Nueva Zelanda y la mayor parte de las áreas alpinas donde los europeos han colonizado. La introducción de la trucha de lago (*Salvelinus namayacush*) que se inició en Fennoscandia en 1960, parece haber sido exitosa en algunas aguas suecas y finlandesas.

Se conoce poco sobre el impacto de estas introducciones en los genomas de las especies, pero donde se practican el cultivo intensivo y la domesticación, por ejemplo, de la trucha arco iris, el cambio genético es inevitable. Lo mismo debe ocurrir para la trucha parda en Europa y otros lugares.

Un estudio muy intenso de los efectos del trasplante de las especies de *Coregonus* y *Salvelinus*, ha sido llevado a cabo en Suecia e Italia (Svärdson, 1979; Nilsson, 1978; Berg y Grimaldi, 1966; Nyman, 1972). Se ha demostrado que las introducciones de especies exóticas conducen a los siguientes cuatro resultados posibles:

- (1) extinción de homólogos ecológicos; el ejemplo más dramático ha sido la extinción de la trucha ártica (complejo *Salvelinus alpinus*) debido a la introducción de ciertos stocks de pescado blanco corégono;
- (2) hibridación con los efectos concomitantes en la genética de las poblaciones de peces originales;
- (3) fracaso de la introducción, originado en parte por la competencia con las especies establecidas;
- (4) coexistencia, lo que implica que la especie introducida ha encontrado un nicho vacante en la comunidad, con una segregación interactiva de nicho, como resultado obvio.

La figura 5 ilustra el resultado normal de la introducción de especies en el norte de Escandinavia y su impacto en la comunidad zooplanctónica. Aparentemente la utilización del zooplancton como alimento tiene un papel muy importante, ya que los consumidores más eficientes de zooplancton se convierten en las especies dominantes (Nilsson y Pejler, 1973; Svårdson, 1976).

Introducir especies exóticas como organismos de presa, es en la actualidad una práctica corriente, especialmente en Estados Unidos y en Canadá, así como en Escandinavia. En Canadá y Suecia, por ejemplo, introducciones de relictos glaciales (especialmente el crustáceo *Mysis relicta*) han sido llevadas a cabo durante varias décadas (Furst, Bostrom y Hammar, 1978). Tales introducciones parecen haber sido exitosas en conjunto, sin embargo, en muchos casos, se ha observado una fuerte repercusión sobre la comunidad zooplanctónica nativa.

#### 5.4 Efectos de la selección artificial

La selección artificial se ha asociado normalmente con cambios genéticos deseables. Sin embargo, en muchos casos el resultado de la selección artificial puede ser no deseable ni predecible. Esto es particularmente cierto cuando la selección y manejo de reproductores llevan a la pérdida de variación genética. Por su misma naturaleza, ejemplos específicos del empobrecimiento genético debido a tales prácticas, no están fácilmente disponibles. Sin embargo, existen suficientes antecedentes para poder aconsejar tener precaución. Por ejemplo, el rendimiento determinado genéticamente expresado en un conjunto de circunstancias (por ejemplo, en piscifactorías) puede no estar correlacionado con el rendimiento en otras circunstancias (por ejemplo, en ríos, lagos, zonas naturales). Las prácticas de selección de reproductores deben proyectarse de modo que se evite la selección y la consanguinidad inadvertidas, si la meta es liberar stocks en un medio distinto del en que fueron criados.

A este respecto, la accesibilidad de stocks reproductores a los administradores de pesquerías no asegura su superioridad genética. Por ejemplo, se ha demostrado que una carpa grande escogida de una población de individuos de idéntica edad, no necesariamente

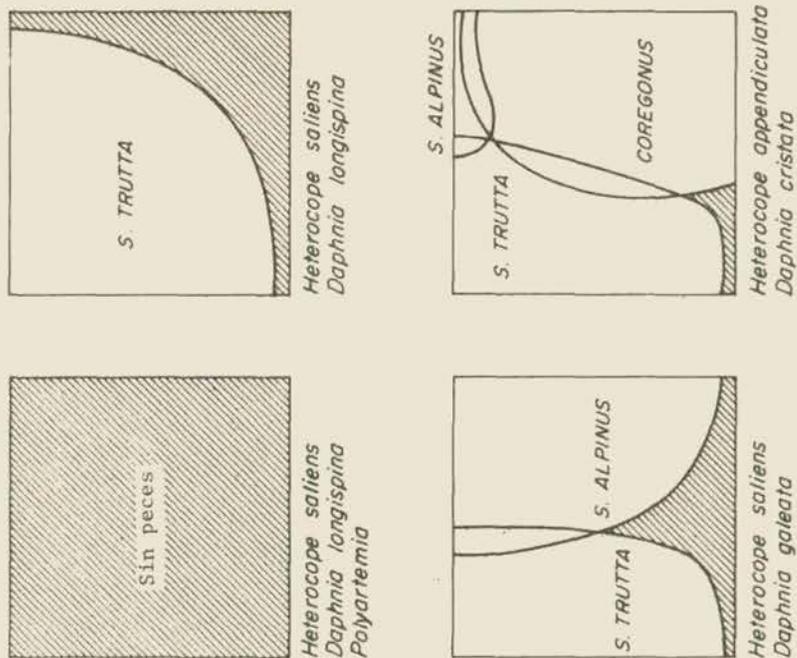


Figura 5 Modelo de las dimensiones de los nichos de la trucha parda (*Salmo trutta*), de *Salvelinus alpinus* y pescado blanco (*Coregonus* sp.) en alopatria y simpatria, y las especies de zooplancton dominantes. (De acuerdo a Nilsson y Pejler, 1973).

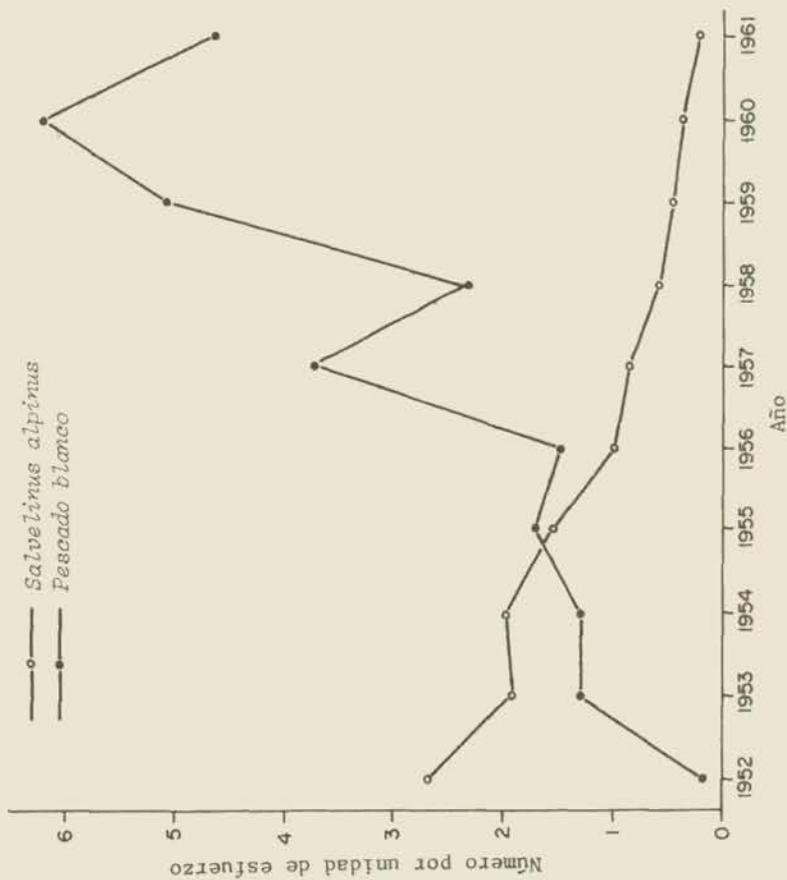


Figura 4 Disminución de la captura con red de enmalle de *Salvelinus alpinus* a medida que el pescado blanco (*Coregonus* sp.) introducido, aumentaba. Lago Vastansjö, norte de Suecia. (Svårdson, 1976).

representa un genotipo superior (Wohlfarth y Moav, 1978). Tal individuo puede haber sido expuesto a un conjunto favorable de condiciones medioambientales que amplifiquen una pequeña diferencia de tamaño de origen no genético, en una talla superior. El uso de stocks reproductores compuestos por tales individuos conduciría a un progreso genético muy reducido o nulo, y bien podría llevar, si el número de individuos seleccionados es pequeño, a la consanguinidad y a la deriva génica (sección 3). Además, individuos de gran talla podrían presentar fenotipos conductuales agresivos bajo control genético, y la selección de tales individuos podría llevar a la población a un nivel de agresividad no deseable.

En algunos casos el stock de reproductores seleccionado de unidades de cultivo en las cuales las clases anuales estén mezcladas (como es probable en tanques tropicales no drenados), puede presentar una mezcla de genotipos superiores e inferiores. Consecuentemente poco progreso genético, o aún erosión, pueden ser esperados por la selección fortuita de reproductores. Por ejemplo, cuando se utilicen como reproductores hembras grávidas de tanques no drenados pescadas con red, ellas pueden ser tanto ejemplares jóvenes de talla (de genotipo superior) como ejemplares viejos de talla pequeña (de genotipo inferior). Además, podría suceder que los machos de genotipo inferior por ejemplo crecimiento lento pero que "no caen en la red") se reproduzcan más a menudo con estas hembras.

Esta es una de las razones por las que los cultivos de *Tilapia* en tanques ha fallado en algunas zonas trópicas: al cosechar los tanques de *Tilapia* es frecuente que se seleccionen los peces grandes y se regresen los pequeños. Este procedimiento favorece la reproducción de peces pequeños y a crecimiento lento, y según se ha demostrado experimentalmente, tal selección puede producir un cambio genético en la población hacia peces de talla menor (y menos deseables). El problema de la *Tilapia* se complica por el cuidado bucal durante la crianza y por la defensa de los juveniles hasta que tengan un tamaño que los libere del canibalismo. Los resultados son tanques sobrepoblados con individuos enanos. En canibalismo puede ser ventajoso genética y económicamente en algunos sistemas de acuicultura.

### 5.5 Domesticación

La domesticación se define como un proceso de selección genética mediado por aislamiento geográfico y reproductivo, por consanguinidad y tamaño de población pequeño para producir cambios evolutivos profundos y deseables en un stock genético. La domesticación involucra, al menos, la capacidad para vivir la mayor parte del ciclo de vida en condiciones artificiales. Se espera que incluya además adaptaciones genéticas al hacinamiento, manipulación y dietas artificiales. Normalmente también se sobreentiende un mejoramiento genético hacia un crecimiento mayor, modificación de la forma del cuerpo y disminución de la conducta de huida producida por el temor. Los aspectos antropológicos de la domesticación están bien documentados (Zeuner, 1963), pero la atención de los científicos no se ha centrado en el proceso mismo a causa de las limitadas oportunidades, para estudiar, documentar y controlar los cambios fenotípicos y genotípicos que se han dado en la domesticación del ganado, las aves o animales de compañía. Lo contrario sucede en la acuicultura.

Existen probablemente muchas razones por las que el hombre no ha domesticado tantos peces como mamíferos, aves y plantas. A causa de las dificultades del transporte terrestre de peces vivos, la domesticación pudo sólo haberse dado en cultivos sedentarios. Existe, de hecho, evidencia de cultivos de peces en Sumeria, contemporáneos con las etapas más primitivas del desarrollo agrícola, que han precedido los inicios documentados de la acuicultura en China en 600 A.C.

También es probable que los intentos para aplicar a los peces o vertebrados poiquilothermos, los criterios de selección aprendidos en la cría de animales de ganado y en el cultivo de plantas, hayan sido generalmente contraproducentes. Por la razón que sea, y con la notoria excepción de la carpa dorada ornamental, y tal vez de la carpa común, pocos peces pueden considerarse domesticados aun cuando algunas cepas de truchas, por ejemplo, claramente están mucho mejor adaptadas a las condiciones de cultivo en piscifactorías que sus contrapartes silvestres (Moyle, 1969; Hines, 1976). Otras especies como las carpas chinas, carpas indias, *Tilapia* sp. y los bagres americanos están en proceso de domesticación.

Como se hizo notar en la sección 5.4, las mismas condiciones de cultivo, junto con la selección consciente hecha por el hombre, facilitarán la domesticación. En gran manera los resultados de este proceso no sólo son deseables, sino también predecibles. Los investigadores deben recordar, sin embargo, que la historia raramente informa de fracasos en tales intentos. A este respecto los investigadores, acuicultores y criaderos deberían situarse en la perspectiva que estos esfuerzos representan, en muchos casos, los pasos iniciales de la domesticación incipiente de un nuevo grupo animal. Debe diseñarse un estudio científico para monitorear y documentar este proceso.

Se ha reconocido que debido a la actuación inevitable de la selección natural en los medios ambientes de cultivo (sección 5.4) la propagación sin domesticación es, tal vez, imposible. Sin embargo, en algunas circunstancias la cría sin cambio genético es la meta, como en el caso de los programas de refuerzo de los stocks de pesquerías naturales, en los cuales es deseable preservar los genotipos originales no domesticados. Por ello se debe tener precaución para evitar el desarrollo de los rasgos que históricamente han caracterizado la domesticación (por ejemplo, pérdida del temor por los depredadores, de la agresividad, de la irritabilidad). Tales pérdidas pueden resultar muy útiles en la administración de stocks de reproductores porque estos rasgos resultan en una mayor accesibilidad. Sin embargo, el desarrollo de dichos rasgos irá en contra de las metas del refuerzo de stocks en pesquerías naturales.

En algunos casos de refuerzo de stocks, los cambios conductuales genéticos producidos durante la domesticación son útiles y deseables. Por ejemplo, el anegamiento de ciertas zonas en proyectos de recuperación de costas o en reservorios continentales pueden crear grandes zonas de hábitats seminaturales acuáticos útiles para la acuicultura. En tales situaciones, puede ser deseable la pérdida de hábitos migratorios y otras conductas sociales no apropiadas.

Puede esperarse que, en base al conocimiento científico ahora existente, se logre una domesticación relativamente rápida de las especies acuáticas, tal como ha sido sugerido por Moav, Brody y Kulata, (1978). Técnicas tales como la ginogénesis probablemente faciliten notablemente el proceso de domesticación. La fecundidad normalmente alta de las especies ícticas ha sido mencionado como un factor que contribuye a la domesticación rápida. Ya sea así o no, es ciertamente fundamental, como fue hecho notar en las recomendaciones de la Conferencia Técnica de la FAO sobre la Acuicultura en 1976, llevada a cabo en Kyoto, que los criadores de peces proporcionen una documentación muy cuidadosa del historial de la crianza de las líneas que se están domesticando. Esta documentación, como es reconocido por los criadores de mamíferos y por los agricultores, será de gran importancia cuando después sea deseable volver a obtener genes, por ejemplo, de resistencia a enfermedades, que hayan sido perdidos en el proceso de domesticación. También se ha propuesto (Malecha, Sarver y Onizuka, 1980) que existe la oportunidad de estudiar las etapas tempranas del proceso mismo de domesticación, a través de la domesticación de especies acuáticas, de una manera que ya no resulta posible en el ganado.

## 6. TECNICAS PARA LA PRESERVACION Y REFUERZO DE LOS RECURSOS GENETICOS EN POBLACIONES DE PECES DE ADMINISTRACION ESTRICTA

Los métodos de preservación de los recursos genéticos ícticos se esquematizan en el Cuadro 1, sección 2. En esta sección se tratan en detalle los métodos apropiados para la acuicultura y el refuerzo de poblaciones.

### 6.1 Selección artificial de reproductores

La selección artificial de reproductores está definida ampliamente como la selección consciente de un individuo o grupo genético para proporcionar descendencia para cultivos o refuerzo de poblaciones. Esta selección puede basarse en el rendimiento de un individuo (selección individual), de su descendencia (selección de progenie), de sus antecesores (selección por pedigrees), de sus parientes contemporáneos o en su potencial de combinaciones útiles con un progenitor de otro genotipo (selección por hibridación). En todos los casos la selección es practicada para mejorar el rendimiento del grupo progenie sobre el grupo progenie de padres no seleccionados.

Existen muchos métodos de selección disponibles para el acuicultor profesional y no profesional (Moav, 1979). La aplicación adecuada de los métodos en un programa de cría puede llevar a resultados útiles y deseados económica, estética y ecológicamente al tiempo que mantienen la variabilidad genética en la población. Sin embargo, una aplicación inadecuada de la selección artificial o su aplicación sin suficientes antecedentes teóricos pueden llevar al deterioro de la base genética.

Se ha informado de resultados útiles de la selección artificial en la acuicultura bajo el punto de vista experimental (Cherfas, 1969) y económico (Kirpichnikov, 1973; Moav y Wolhfarth, 1973). En estos casos particulares, los resultados no deseables no han tenido consecuencias económicas o han sido previstas (como en el caso de sistemas experimentales). En muchos casos, sin embargo, se han dado otros resultados no deseables. Esto sucede cuando la selección y manejo de los reproductores *per se*, lleva a la selección artificial.

El uso de técnicas de cría controlada de maza en piscifactorías incrementa notoriamente la supervivencia de larvas, postlarvas y juveniles con respecto a la que se da en la naturaleza. Teóricamente, índices mayores de supervivencia deberían incrementar la variabilidad genética disponible para la selección natural y artificial, porque pueden ocasionar la manifestación de los genotipos presentes en un grupo genético al permitir que nuevas combinaciones genéticas sobrevivan. Sin embargo, a largo plazo, las condiciones de cultivo imponen su propia selección "natural" sobre el genotipo (Doyle y Hunte, 1980; McCauley, 1978). Esto puede o no llevar a resultados deseables y debe ser vigilado cuidadosamente.

La propagación de stocks en piscifactorías para el establecimiento de una línea seleccionada lleva entre diez y cincuenta generaciones. Los criadores de peces, por ello, pueden tener la tentación de mantener un mínimo de individuos. Es, por lo tanto, esencial que evalúen cuidadosamente los costos de disminuir la adaptación y variabilidad genética contra las ventajas de mantener pocos individuos. Como se discutió en la sección 4, se piensa que la adaptación disminuya si el tamaño efectivo de la población de reproductores es menos de 50, y que la variación genética en rasgos cuantitativos vaya desapareciendo gradualmente, a menos que el tamaño sea del orden de 500. Si los criadores eligen no hacer caso de estas recomendaciones, deben saber que la salud genética que produce la utilidad de sus líneas, podría estar en peligro.

## 6.2 Métodos artificiales de reproducción

Los métodos de propagación artificial, incluyendo el uso de hormonas, fertilización y desarrollo *in vitro*, se utilizan ampliamente en la acuicultura. En algunas especies, la propagación artificial es necesaria para controlar el ciclo de vida. En otras, tales técnicas de propagación son más eficientes que los métodos de cría naturales. Se indican a continuación las modalidades en las que la propagación artificial pueden afectar el mantenimiento y estudio de la variación genética.

### 1. Incremento de la variabilidad genética y de la comprensión de la genética.

Numerosas crías de diferentes parejas, y de cruces de una sola hembra con varios machos (y viceversa), permiten no solamente evitar la endogamia y los efectos de cuello de botella, sino también integrar las operaciones de selección con diseños experimentales adecuados. Como se mencionó en el Informe del grupo de trabajo *ad hoc* de la FAO sobre los recursos genéticos de los peces (FAO, 1972), esta integración permite un mejoramiento de las poblaciones y contribuye al conocimiento del control genético de los caracteres relacionados con la producción.

### 2. Auxilio en la conservación de las poblaciones, líneas, especies y otros grupos genéticos.

La propagación artificial y el control del ciclo de vida permite al acuicultor mantener poblaciones valiosas o potencialmente valiosas para usos inmediatos o futuros.

### 3. Permite la creación y el uso de métodos especializados de cría.

Los procedimientos ginogénéticos se han desarrollado con el uso de técnicas artificiales de propagación. Estos procedimientos son utilizados para criar y mantener líneas altamente endogámicas que pueden ser utilizadas en la cría y preservación de genotipos homocigóticos útiles. Manteniendo muchas de tales líneas homocigóticas en una población, la variabilidad genética global puede ser preservada a pesar de que cada línea tenga una variabilidad severamente reducida. Las cruces de las líneas pueden crear variabilidad heterocigótica que puede ser económicamente útil a causa del vigor híbrido y/o a causa de combinaciones genotípicas heteróticas favorables. En la descendencia de las cruces de líneas homocigóticas obtenidas por ginogénesis puede esperarse una heterosis de 30 a 40 por ciento sobre los progenitores.

4. Permite el mantenimiento eficiente de un tamaño efectivo de población. Como se discutió en la sección 4, el mantenimiento de un tamaño efectivo mínimo en la población es esencial para la conservación de la variabilidad genética. En condiciones naturales, el tamaño efectivo de la población (sección 3.4) puede variar ampliamente. A través del uso de métodos de propagación artificial el hombre puede controlar el tamaño efectivo de la población simplemente a través del control del número de reproductores machos y hembras.

5. Ayuda en la hibridación interespecífica. Normalmente las diferencias conductuales y anatómicas no permiten cruza interespecíficas o intragenéricas entre especies que, por lo demás, serían reproductivamente compatibles, por lo menos para la producción de progenie  $F_1$ . El uso de técnicas de propagación artificial, especialmente las que involucran manipulación *in vitro* de gametos y cultivo *in vitro* de embriones de especies que tienen incubación maternal, auxiliarían notoriamente en la producción de híbridos interespecíficos.

### 6.3 Hibridación y heterosis

La hibridación puede ser dividida en dos categorías: (1) intraespecífica: cruce entre cepas, poblaciones, razas y poblaciones geográficas dentro de una especie; (2) interespecífica: cruces entre especies. La hibridación es llevada a cabo para lograr uno de los dos resultados favorables siguientes: (1) heterosis o vigor híbrido, que se define en un sentido amplio como un incremento en el rendimiento o valor de la progenie para el acuicultor sobre el promedio de rendimiento o valor de los progenitores, y (2) efectos no heteróticos como es el rendimiento de la progenie en función de combinación sencilla de los genotipos parentales.

La hibridación específica es útil para producir una amplia variedad de combinaciones genéticas nuevas. En crías intensivas y extensivas de peces, realizadas en piscifactorías, se han llegado a realizar mejoramientos en producción sobre la lograda por cepas raciales autóctonas (Bakos, 1979, Wohlfarth y Moav, 1972; Yant, 1976). El efecto heterótico esperado puede ser aumentado utilizando líneas parentales sumamente endogámicas (ver sección 6.2). El resultado deseado es la homocigocidad de genes útiles en un producto sumamente estandarizado y uniforme.

La hibridación interespecífica es utilizada no sólo en la búsqueda de los efectos heteróticos, sino también para investigar las combinaciones favorables de genotipos que controlan rasgos y rendimientos que no varían ampliamente dentro de una especie. Por ejemplo, nuevos tipos de conducta social y de alimentación, mejor adaptación a extremos medioambientales en sistemas naturales o controlados, y mejor adaptación a nuevos sistemas de cría, pueden ser los grados por cruces interespecíficos. Además, la hibridación interespecífica puede ser utilizada para producir grupos de progenie monosexual o estéril, que también muestren rendimientos deseables de producción. Por ejemplo, se ha obtenido un triploide estéril híbrido de carpa de cabeza grande y de carpa herbívora (Marian y Krasznai, 1978). Este híbrido estéril puede ser introducido en diferentes ecosistemas para la lucha de malas hierbas, sin peligro de sobrepoblación o cruzamientos con poblaciones silvestres. La producción de crías monosexuales de *Tilapia* sp. logradas por la hibridación interespecífica está siendo investigada intensivamente (Pruginin *et al.*, 1975), ya que ninguna combinación ha originado consistentemente una cría monosexual absoluta. Sin embargo, son posibles y se están utilizando cruces que producen proporciones sexuales con gran mayoría de machos.

La hibridación interespecífica no es rara en la naturaleza (Hickling, 1968; Hubbs, 1955; Schwartz, 1972; Slastenenko, 1957). Sin embargo, hasta la fecha la mayor parte de los intentos del hombre para obtener hibridación interespecífica en los peces, se ha hecho con los salmónidos sujetos a explotación (Chevassus, 1979), ciprínidos (Bakos, Krasznai y Marian, 1978) y centrárquidos (Childers, 1971). Sin embargo, las especies ícticas no explotadas representan un vasto repertorio de adaptaciones conductuales, fisiológicas, nutricionales, etc., que pueden resultar más útiles al ser utilizadas en el mejoramiento genético, que lo que serían a través de la manipulación genética intraespecífica. El desarrollo y uso de la propagación artificial y de las técnicas *in vitro* auxiliarían notoriamente en tal tarea.

#### 6.4 Refuerzo de poblaciones

Existen numerosos ejemplos de actividades basadas en la idea de aumentar la producción de las poblaciones silvestres por medio de la introducción a los sistemas naturales de peces juveniles originados en granjas. Diferentes grados de éxito han sido alcanzados; en algunos casos, por ejemplo, los primeros intentos para aumentar la producción de bacalao (*Gadus morrhua*) en el Atlántico del norte, no han sido claramente positivos. En sistemas cerrados como lagos, mares interiores o reservorios, sin embargo, han habido evidentes mejoras en la productividad de varias especies.

Es claro que los stocks naturales de peces sufren una alteración genética por la adición o pérdida de material genético. A pesar de que se ha puesto mucha atención a los efectos de la competencia entre peces silvestres y los criados en piscifactorías - por ejemplo en los salmónidos - se ha puesto muy poca atención a los cambios que pueden resultar en las poblaciones silvestres a causa de la mezcla con stocks criados artificialmente. En algunos casos el material parental es tomado directamente de la población a la cual los peces de granja serán posteriormente incorporados. En este caso, el peligro principal sería la posible pérdida de diversidad genética por endogamia a largo plazo del stock parental. Donde existe relativamente poca reproducción natural o donde pocos reproductores son utilizados para producir la mayor parte de los reclutas, la pérdida fortuita de variación genética (deriva génica) se incrementaría. Cuando, como sucede a menudo, una piscifactoría es utilizada para proporcionar semilla para poblar varios lagos, los efectos tienen mayor repercusión. Flick y Webster (1976) han informado de supervivencias mayores en poblaciones silvestres y en líneas híbridas domésticas de trucha de arroyo después de la liberación en pequeños lagos naturales, en comparación con las líneas puras de piscifactoría. En los salmónidos y carpas, un gran número de cepas distintas de piscifactoría han sido producidas.

Se han puesto de manifiesto diferencias genéticas entre poblaciones de peces de distintas corrientes de la misma cuenca fluvial, entre las de lagos cercanos y entre las subpoblaciones dentro del mismo cuerpo de agua (sección 3.4). Existe, sin embargo, poca evidencia directa acerca del grado en que tal variación entre las poblaciones afecta la adaptación en los diferentes hábitats. Estudios fisiológicos y bioquímicos recientes han mostrado, sin embargo, la existencia de correlaciones entre frecuencias génicas y variables medioambientales, como la temperatura (Place y Powers, 1970; Powers, Greaney y Place, 1979; Koehn, 1969; Merritt, 1972). Por ello, se deben esperar adaptaciones locales ecotípicas en poblaciones ícticas, y las consecuencias genéticas y ecológicas de transferencias intraespecíficas pueden ser no deseables.

#### 6.5 La criopreservación de los recursos genéticos

Para mantener una elevada variabilidad genética en peces cultivados, sería necesario mantener un gran número de reproductores (por ejemplo centenares), lo que es costoso y a menudo imposible. La introducción de la criopreservación de los gametos que puedan ser utilizados cuando sea necesario, reduciendo por consiguiente la erosión genética que invariablemente resulta de la endogamia, permite la congelación del esperma de muchos donadores machos de todo tipo de líneas.

Esencialmente el método consiste en la expulsión de esperma de machos, dilución del esperma con sustancias protectoras y que alargan la vida, y la posterior congelación en nitrógeno líquido o en hielo seco seguido por nitrógeno líquido. La metodología exacta es algo diferente para cada especie (ver Horton y Ott, 1976; Rosenthal, Alderdice y Velsen, 1978). Una vez que este método se haya refinado para una especie particular, esperma de miles de donadores machos puede ser guardado durante años, preservando así los recursos genéticos para (1) stocks de peces en cultivo, (2) poblaciones naturales peculiares y/o (3) especies en peligro de extinción. Actualmente los métodos para congelar huevos o embriones de pez no son técnicamente posibles, pero se está investigando activamente en esta área (ver Whittingham y Rosenthal, 1978).

## 7. RECOMENDACIONES

Considerando el amplio marco de referencia dado a la Consulta, y la diversidad de recomendaciones que surgieron de la discusión, los participantes acordaron agrupar sus recomendaciones de acuerdo a las distintas audiencias a las que van principalmente dirigidas. Los grupos acordados son los siguientes:

- (1) las organizaciones internacionales,
- (2) los Gobiernos,
- (3) los acuicultores y administración de pesquerías,
- (4) los conservacionistas,
- (5) los investigadores científicos.

Gran parte del esfuerzo necesario para llevar a cabo la Consulta proviene del trabajo continuo del Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA) para establecer una estrategia global para la conservación de los recursos genéticos. Por esta razón la Consulta dio particular atención a las actividades necesarias para establecer e implementar una estrategia global de conservación de los recursos genéticos de los peces. Muchas de las recomendaciones siguientes en todas las categorías, fueron formuladas para contribuir al desarrollo de tal estrategia global, como fue propuesto por el PNUMA para la conservación a largo plazo. El primer conjunto de recomendaciones, dirigido a las organizaciones internacionales, está particularmente encauzado a lograr apoyo institucional para programas de conservación de los recursos genéticos y en este caso se proporcionan detalles adicionales en los apéndices. De la misma manera las recomendaciones a los científicos primariamente, tratan de proporcionar fundamentos para tales estrategias.

El grupo también consideró acciones inmediatas para la administración más efectiva del uso actual de los recursos acuáticos. Las recomendaciones concernientes a dichas acciones están agrupadas principalmente con las dirigidas a los gobiernos, a los administradores de pesquerías y a los acuicultores.

### 7.1 Recomendaciones dirigidas primariamente a las organizaciones internacionales

1. La FAO, a través de programas cooperativos con otros organismos internacionales debería promover en las comunidades relacionadas con las pesquerías y con la acuicultura, a niveles regionales y nacionales, una concientización profundamente arraigada de los conceptos de la preservación genética. Estos objetivos deberían ser cumplidos a corto plazo por medio de la elaboración y distribución de manuales de capacitación y de documentos informativos, que requieren ser seguidos inmediatamente por talleres.
2. Los criterios biológicos para la elaboración de proyectos de administración de las reservas acuáticas necesitan ser definidos a partir de principios genéticos, ecológicos y demográficos. Una consulta de expertos, que cuenten con antecedentes teóricos, experimentales o de aplicación, y representen las áreas críticas del conocimiento debería ser llevada a cabo para definir los criterios biológicos del proyecto y de la administración de las reservas acuáticas, a fin de preservar los stocks genéticos naturales de peces y de otros organismos acuáticos. La Consulta debería incluir en sus consideraciones principios genéticos, ecológicos y demográficos.
3. Se recomienda establecer centros internacionales, preferentemente de carácter regional, donde grupos de investigadores experimentados deberían: (1) reunir datos básicos biológicos y genéticos sobre stocks de peces sujetos o potencialmente sujetos a explotación, y (2) divulgar tal información a través de catálogos, boletines, etc., a fin de proporcionar mecanismos más directos para la resolución de problemas y controversias biológicas relevantes a nivel internacional, particularmente los relacionados con la explotación de las especies ícticas. Atención especial se debe dar a los componentes, y a las especies que puedan ser consideradas para introducir en cuencas distintas o a través de fronteras nacionales (ver apéndice 2).

4. La Unesco y tal vez otros organismos internacionales, como la FAO y la UICN, deberían considerar el establecimiento de un programa de educación y capacitación, a niveles nacional y regional, sobre la conservación y preservación de los recursos genéticos de los peces y de otros organismos acuáticos. Como base de su labor educativa, el programa debería compilar información básica (a) sobre la diversidad y vulnerabilidad de los recursos genéticos acuáticos, (b) sobre los procedimientos para la identificación de las especies y poblaciones vulnerables y (c) sobre los métodos apropiados que aseguren que la información sobre la vulnerabilidad y sobre los peligros a los que están sujetos los recursos genéticos, sea tomada en cuenta por organismos competentes para actuar (ver apéndice 3).
5. La lluvia ácida es hoy por hoy una amenaza particularmente seria para los recursos genéticos de los organismos acuáticos y un problema que requiere una acción internacional. La FAO y otros organismos internacionales públicos y privados deberían promover que los gobiernos acuerden protocolos adecuados para el control de la cantidad de azufre que sea descargado a la atmósfera.
6. Se alienta a las muchas organizaciones internacionales establecidas para reglamentar la explotación de las poblaciones de peces (por ejemplo Comisión Asesora Europea sobre Pesca Continental - CAEPC -, Consejo Internacional para la Exploración del Mar - CIEM-, la Comisión de Pesquerías de los Grandes Lagos, etc.) en sus esfuerzos para evitar la extinción y el deterioro genético de poblaciones valiosas.

#### 7.2 Recomendaciones dirigidas primariamente a los gobiernos

1. Las introducciones de especies nuevas en sistemas acuáticos, a menudo han tenido serias consecuencias sobre los recursos existentes. Los gobiernos que no cuenten con procedimientos para asegurar que un análisis objetivo de los riesgos preceda la introducción de un organismo acuático en aguas nacionales, deben, de inmediato, tomar medidas para establecerlos. Los datos genéticos, conductuales y ecológicos, así como su potencial para introducir enfermedades, deberían ser incluidos en el análisis de riesgos. En conexión con esto, los gobiernos deben estar conscientes de que la probabilidad de fuga de especies acuáticas cultivadas (aun de aquéllas mantenidas únicamente con propósitos de investigación) es tan alta que los esfuerzos para confinar los animales acuáticos importados de ninguna manera obvia la necesidad de evaluar tal riesgo.
2. Los gobiernos deberían considerar urgentemente el establecimiento de reservas marinas y de agua dulce de acuerdo a los principios que se han establecido para las reservas terrestres (ver 7.1, recomendación 2 y 7.4, recomendación 2).
3. Los gobiernos deben insistir que se evalúen los impactos potenciales de proyectos de desarrollo hidroeléctrico, de irrigación u otros relacionados con las pesquerías y los recursos genéticos ícticos, desde las primeras etapas de estudio, a fin de que se asegure la posibilidad de examinar alternativas adecuadas.
4. El deterioro medioambiental (por contaminación, azolvamiento y erosión, etc.) representa generalmente una amenaza más importante para la preservación de los recursos genéticos ícticos, que su explotación directa. Los gobiernos deseosos de proteger estos recursos, no deberían escatimar esfuerzo alguno para asegurar que el daño medioambiental a los cuerpos de agua naturales, sea minimizado.

#### 7.3 Recomendaciones a los acuicultores y administradores de pesquerías

1. Los criaderos de peces deberían estar preocupados por la continua adaptación (viabilidad, vigor, fecundidad) de sus stocks y deberían mantener el tamaño efectivo de población,  $N_e$ , de los stocks de 50 o más para la cría a corto plazo y para programas de cultivo, y mucho más (alrededor de 500) para la protección de la variabilidad genética de las líneas. Las técnicas que involucran consanguinidad deberían ser utilizadas sólo para metas genéticas específicas y sólo cuando un estricto control genético sea posible y pueda ser usado junto con otros programas de selección.

2. Los investigadores que trabajen en el área de la acuicultura, en sus esfuerzos para lograr la domesticación, deberían coleccionar stocks fundadores de tantos lugares dentro del ámbito de distribución como sea posible, con el fin de asegurar que, por lo menos en sus etapas iniciales, se parta de una base genética lo más amplia posible. Estos stocks deberían someterse a una amplia gama de análisis genéticos para asegurarse que el grupo fundador pertenece a la misma especie y que los individuos son compatibles cromosómica y genéticamente.
3. La investigación sobre las técnicas artificiales de propagación, incluyendo las de fertilización y desarrollo *in vitro*, debería tener alta prioridad para poder auxiliar en programas de preservación genética durante las etapas iniciales de la domesticación. El uso de técnicas especializadas de cría, tales como la ginogénesis, están siendo exitosamente aplicadas en la domesticación de algunas especies de peces y debería lograrse un mayor desarrollo de ellas como parte de los esfuerzos para domesticar nuevas especies o grupos genéticos.
4. Los esfuerzos de los acuicultores e investigadores deben dirigirse, no sólo a preservar y mantener los stocks actualmente domesticados en unidades de cultivo, sino también a preservar y mantener las poblaciones silvestres filogenéticamente próximas de estos grupos genéticos como valiosos reservorios de variación genética. Además es importante documentar el proceso de la domesticación, incluyendo el origen e historial de los stocks silvestres.
5. Los investigadores que trabajan en el área de la acuicultura, los acuicultores y los administradores de pesquerías, deben estar conscientes de las limitaciones de los métodos actuales de estimación de la variación genética, especialmente cuando sean utilizados para determinar *a priori* cuáles especies, poblaciones geográficas o grupos deben ser seleccionados para ser domesticados o para repoblar aguas naturales.
6. Las piscifactorías que llevan a cabo programas de introducción o de repoblación en zonas naturales deberían estar conscientes del hecho de que pueden producirse cambios genéticos en los ecosistemas naturales como consecuencia de la utilización de poblaciones endogámicas. Tales stocks son adecuados únicamente para pesquerías basadas en la extracción y repoblación de un cuerpo de agua, y ello sólo si es probable que no se mezclen con los stocks nativos. Deberían asimismo tomar consciencia de las posibles consecuencias genéticas y en la ecología de los stocks naturales de peces y en las pesquerías, resultantes de usar reproductores con desviaciones en sus frecuencias alélicas, genotípicas y fenotípicas, recolectados en un área para producir semilla para la repoblación de otra zona.
7. Los acuicultores, los investigadores que trabajan en acuicultura y los administradores de pesquerías naturales deberían encaminar sus esfuerzos hacia el desarrollo de metodologías, protocolos y sistemas de cría basados en la genética, para la generación de grupos genéticos adecuados para repoblar pesquerías naturales deterioradas (especialmente las de aguas continentales). En este esfuerzo debería también incluirse metodología de evaluación de la productividad y de la supervivencia de las características del grupo liberado.
8. Las técnicas morfológicas, merísticas y electroforéticas deberían ser utilizadas cuando se juzgue adecuado, para estudiar las especies ícticas comercialmente explotadas, a fin de encontrar mercados poblacionales específicos de cada especie. Las poblaciones que puedan ser identificadas por fenotipos o frecuencias génicas peculiares, deben ser monitoreadas para evitar la sobrepesca de grupos específicos y así disminuir la probabilidad de eliminar los recursos genéticos de poblaciones singulares.
9. Grupos de trabajo anteriores han recomendado que se establezca un sistema internacional para la designación de cepas y stocks ícticos utilizados en la acuicultura y en piscifactorías. Aunque exista la opinión de que esto es todavía impráctico, creemos que los criadores deberían iniciar este procedimiento para algunos peces, por ejemplo, la carpa común, la trucha arco iris, la *Tilapia nilotica*, y que las discusiones podrían iniciarse en una futura reunión internacional de criadores de peces o acuicultores. La Oficina de la FAO de los recursos fitogenéticos podría proporcionar antecedentes utilizando su amplia experiencia en la preservación de razas naturales definidas genética y geográficamente.

#### 7.4 Recomendaciones dirigidas principalmente a la comunidad conservacionista

1. Debería incrementarse el esfuerzo encaminado a identificar las poblaciones explotadas o en peligro de extinción, a resolver algunos de los problemas taxonómicos más importantes existentes en algunas partes del mundo (especialmente en Sudamérica y África) y a comprender la función de las diversas especies de peces en los ecosistemas de estas regiones.
2. Se debería planear una secuencia de reuniones internacionales en los años inmediatos a fin de definir los lugares y la forma en que se deben establecer parques marinos y de agua dulce (Reservas de la biósfera). Cada reunión o grupo de trabajo debería reunir expertos regionales y científicos especializados en un hábitat específico. Deberían incluirse por ejemplo, hábitats de manglar, arrecifes coralinos, aguas salobres, ríos tropicales y hábitats lacustres tropicales mayores. A fin de facilitar la creación de parques marinos y de agua dulce, debería establecerse un grupo de trabajo para discutir y determinar las dimensiones y formas geográficas de las reservas genéticas acuáticas naturales, tomando en consideración criterios ecológicos, demográficos y genéticos (ver sección 7.1, recomendación 2 y sección 7.2, recomendación 2).
3. Se debería colaborar con los administradores de acuarios y con los aficionados a fin de mantener stocks de especies raras o en peligro de extinción, tal como se lleva a cabo en los zoológicos de aves y mamíferos, tomando en plena consideración la necesidad de mantener poblaciones adecuadamente grandes de cada especie.
4. Se debe considerar la creación de proyectos nacionales o internacionales de monitoreo de peces, tales como el de la vigilancia de la trucha silvestre y de la umbra, que se está organizando actualmente.
5. Existe la necesidad general de identificar áreas geográficas importantes, especies y sus ámbitos de distribución a fin de proporcionar antecedentes para la toma de decisiones sobre dónde, qué y cómo se deben iniciar los programas de preservación de peces potencialmente amenazados de extinción. Los conservacionistas deberían colaborar con organismos tales como la UICN para catalogar los recursos genéticos en peligro de extinción.

#### 7.5 Recomendaciones dirigidas principalmente a la comunidad científica

1. Las razas fisiológicas han sido reconocidas desde hace muchos años y, sin embargo, no se conoce si las diferencias fisiológicas entre poblaciones de peces son representativas de diferencias genéticas. La variación fisiológica está influida por variables medioambientales que hacen que las bases genéticas de estas variables sean de difícil elucidación. Investigaciones sobre estos problemas son necesarias con urgencia.
2. El monitoreo de la variabilidad genética en poblaciones ícticas naturales y cultivadas tiene muchas ventajas. Sin embargo, no se sabe si los diferentes métodos de evaluación de la variabilidad genética sean representativos de varianza genómica *per se*. Por lo tanto, se recomienda complementar investigaciones sobre este tema. Las correlaciones entre variación electroforética, merística y morfológica deben examinarse en numerosas especies ícticas para determinar cuáles métodos proporcionan estimaciones fidedignas de la variación genética de las especies. Estos estudios deberían ser enriquecidos, siempre que sea posible, con el examen de cambios inducidos artificialmente en la variación genética a través de la consanguinidad.
3. Por varias razones, se considera conveniente el monitoreo genético (electroforético) de diversas especies y poblaciones de peces en el transcurso de su explotación: por ejemplo (1) existe la posibilidad de que patrones de cambio similares sean detectados en diferentes poblaciones explotadas; (2) se puede encontrar y utilizar como indicadores de sobreexplotación, correlaciones bioquímicas con cambios en la estructura de los grupos de edad o talla.
4. Los avances recientes en las técnicas de ingeniería genética permiten vislumbrar que la transferencia de información genética entre especies de peces no emparentadas, será posible en el futuro próximo. Las investigaciones sobre este tema deben ser alentadas ya que ampliarán la base de los recursos genéticos disponibles para las pesquerías.

5. Las investigaciones sobre la criopreservación de esperma, huevos y embriones de peces, deben acelerarse.
6. En las regiones tropicales donde gran parte de los ecosistemas se conocen muy deficientemente y gran parte de las especies no han sido descritas, se deben emprender amplios estudios ecológicos y sistemáticos (taxonómicos).
7. Es necesario realizar investigaciones acerca del control de los híbridos estériles y de su repercusión en el ecosistema. Es particularmente importante evaluar el eventual escape genético de los stocks híbridos estériles y su posible impacto en las poblaciones silvestres.

#### 8. REFERENCIAS

- Allendorf, F.W. y F.M. Utter, Population genetics. In Fish physiology, ed. W.S. Hoar, D.J. Randall y J.R. Brett. New York, Academic Press, vol.8:407-54  
1977
- Bakos, J., Crossbreeding Hungarian races of common carp to develop more productive hybrids. In Advances in aquaculture, ed. T.V.R. Pillay y W.A. Dill. Farnham, Surrey, Fishing News Books Ltd., pp. 633-5  
1979
- Bakos, J., Z. Krasznai y T. Marian, Crossbreeding experiments with carp, tench and Asian phytophagous cyprinids. Aquacult.Hung., Szarvas, 1:51-7  
1978
- Berg, A. y E. Grimaldi, Ecological relationships between planktophagic fish species in Lago Maggiore. Verh.Int.Ver.Theor.Angew.Limnol., 16:1065-73  
1966
- Bush, G.L., R.W. Neck y G.B. Kitto, Screwworm eradication: inadvertent selection for noncompetitive ecotypes during mass rearing. Science, Wash., 193:491-3  
1976
- Cherfas, B.I., (ed.), Genetics, selection and hybridization of fish. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, IPST Cat. No. 600424:269 p.  
1972
- Chevassus, B., Hybridization in salmonids: results and perspectives. Aquaculture, 17:113-28  
1979
- Childers, W.F., Hybridization of fishes in North America (Family Centrarchidae). Rep.FAO/UNDP (TA), (2926):133-42  
1971
- Clarke, C.H.D., The bob-white quail in Ontario. Tech.Bull.Fish Wildl.Ser., Can., (2)  
1954
- Courtenay, W.R., Jr., et al., Exotic fishes in fresh and brackish waters of Florida. Biol.Conserv., 6(4):292-302  
1974
- Denniston, C.D., Small population size and genetic diversity: implications for endangered species. In Endangered birds: managment techniques for preserving threatened species, ed. S.A. Temple. Madison, University of Wisconsin, pp. 281-99  
1978
- Doyle, R. y W. Hunte, The importance of selecting for survivorship in genetic yield improvement programs in crustacean aquaculture. Proc.World Maricult.Soc., 11:529-34  
1980
- Everett, G.V., The rainbow trout Salmo gairdneri (Rich.) fishery of Lake Titicaca. J.Fish Biol., 5:429-40  
1973
- FAO, Pilot study on conservation of animal genetic resources. A report of a cooperative project of the United Nations Environment Programme (Project No. 0604-73/002). Rome, FAO, 60 p.  
1975
- \_\_\_\_\_, Report of the first meeting of the FAO ad hoc Working Party on genetic selection and the conservation of genetic resources of fish, Rome, Italy, 7-10 December, 1971. FAO Fish.Rep., (119):9 p.  
1972
- Falconer, D.S., Introduction to quantitative genetics. London, Oliver and Boyd  
1960

- Flick, W.A. y D.A. Webster, Production of wild, domestic and interstrain hybrids of brook trout  
1976 (Salvelinus fontinalis) in natural ponds. J.Fish.Res.Board Can., 33(7):1525-39
- Frankel, O.H. y M.E. Soule, Conservation and evolution. London, Cambridge University Press  
1981
- Franklin, I.A., Evolutionary change in small populations. In Conservation biology: an evolutionary-  
1980 ecological perspective, ed. M.E. Soule y B.A. Wilcox. Sunderland, Mass., Sinauer  
Associates, pp. 11-34
- Frey, G.D., A limnological reconnaissance of Lake Lanao. Verh.Int.Ver.Theor.Angew.Limnol., 17:  
1969 1090-102
- Fürst, M., U. Bostrom y J. Hammar, Effects of new fish-food organisms in Lake Blasjon. Inf.Inst.  
1978 Freshwat.Res., Drottningholm, (15):94 p.
- Gilbert, L.E., Food web organization and the conservation of Neotropical diversity. In Conservation  
1980 biology: an evolutionary-ecological perspective, ed. M.E. Soule y B.A. Wilcox. Sunder-  
land, Mass., Sinauer Associates, pp. 11-34
- Gjedrem, J., Oppdreff au laksefisk (Production of salmonids). Lecture notes. Institute of Animal  
1974 Genetics and Breeding, Norway, 143 p.
- Gwahaba, J.J., Effects of fishing on the Tilapia nilotica (Linne, 1957) population in Lake George,  
1973 Uganda, over the past 20 years. E.Afr.Wildl.J., 11:317-28
- Harper, J.L., The role of predation in vegetational diversity. Brookhaven Symp.Biol., 22:48-62  
1969
- Helsop-Harrison, J., Genetic resources conservation: the end and the means. J.R.Soc.Arts, Feb.  
1974 issue:157 p.
- Hickling, C.F., Fish hybridization. FAO Fish.Rep., (44) vol.4:1-11  
1968
- Hines, N.O., Fish of rare breeding: salmon and trout of the Donaldson strains. Washington D.C.,  
1976 Smithsonian Institute Press
- Hoopagh, D.A., Status of the redband trout (Salmo sp.) in California. Admin.Rep., Calif.Dep.Fish  
1974 Game Inland Fish., (74-7):11 p.
- Horton, H.F. y A.C. Ott, Cryopreservation of fish spermatozoa and ova. J.Fish.Res.Board Can., 33(4)  
1976 Part 2:995-1000
- Hubbs, C.L., Hybridization between fish species in nature. Syst.Zool., (4):1-20  
1955
- IUCN-UNEP-WWF, A world conservation strategy. Morges, Switzerland, International Union for  
1979 Conservation of Nature and Natural Resources, General Assembly Paper. (GA 78/9)
- Johannes, R.E. y P.A. Larkin, Competition for food between redband shiners (Richardsonius balteatus)  
1961 and rainbow trout (Salmo gairdneri) in two British Columbia lakes. J.Fish. Res.Board  
Can., 18(2):203-20
- Kincaid, H.L., Inbreeding in rainbow trout (Salmo gairdneri). J.Fish.Res.Board Can., 33(11):2420-6  
1976
- \_\_\_\_\_, Effects of inbreeding on rainbow trout populations. Trans.Am.Fish.Soc., 105(2):273-80  
1976a

- Kirpichnikov, V.S., Genetics of the common carp, Cyprinus carpio, and other edible fishes. In 1971 Lectures of the Seminar/Study Tour in the U.S.S.R. on genetic selection and hybridization of cultured fishes. Rome, 1971. Rep.FAO/UNDP(TA), (2926):186-201
- \_\_\_\_\_, Theory of fish selection. In Genetics, selection, hybridization of fish, ed. B.I. Cherfas. 1972 Jerusalem, Israel Program for Scientific Research, IPST Cat.No.600424:42-56
- \_\_\_\_\_, Genetic selection of common carp in the U.S.S.R. FAO Aquacult.Bull., 5(2):5 1973
- Koehn, R.K., Esterase heterogeneity: dynamics of a polymorphism. Science, Wash., 163:933-4 1969
- Kosswig, C., The role of fish in research on genetics and evolution. In Genetics and mutagenesis of 1973 fish, ed. J.H. Schroder. New York, Springer-Verlag, pp. 3-16
- Lande, R., The maintenance of genetic variability by mutation in a polygenic character with linked 1976 loci. Genet.Res.Camb., 26:221-35
- Maitland, P.S., The status and conservation of rare freshwater fishes in the British Isles. Proc.Brit. 1979 Freshwat.Fish Conf., 1:237-48
- Malecha, S.R., D. Sarver y D. Onizuka, Approaches to the study of domestication in the freshwater 1980 prawn Machrobrachium rosenbergii with special emphasis on the Anenue and Malaysian stocks. Proc.World Maricult.Soc., 11:500-28
- Marian, T. y Z. Krasznai, Karyological investigations on Ctenopharyngodon idella and Hypophthal- 1978 michthys nobilis and their cross-breeding. Aquacult.Hung., Szarvas, 1:44-50
- McCauley, D.E., Demographic and genetic responses to two strains of Tribolium cataneum to a novel 1978 environment. Evolution, 32:398-415
- Merritt, R.B., Geographic distribution and enzymatic properties of lactate dehydrogenase allozymes in 1972 the fathead minnow, Pimephales promelas. Am.Nat., 196:173-84
- Mickevich, M.F. y M.S. Johnston, A congruence between morphological and allozyme data in 1976 evolutionary inference and character evolution. Syst.Zool., 25:260-70
- Milbrink, G. y S. Holmgren, Fish species interaction in a fertilized reservoir. Rep.Inst.Freshwat. 1981 Res., Drottningholm, (59) (in press)
- Moav, R., Genetic improvement in aquaculture industry. In Advances in aquaculture, ed. T.V.R. Pillay 1979 y W.A. Dill. Farnham, Surrey, Fishing News Books Ltd., for FAO, pp. 610-22
- Moav, R. y G. Wolhfarth, Carp breeding in Israel. In Agricultural genetics; selected topics, ed. 1966 R. Moav. New York, John Wiley
- \_\_\_\_\_, Genetic improvement of yield in carp. FAO Fish.Rep., (44) vol.4:12-29 1968
- Moav, R., T. Brody y G. Hulata, Genetic improvement of wild fish populations. Science, Wash. 1978 201(2):1090-4
- Moav, R., M. Soller y G. Hulata, Genetic aspects of the transition from traditional to modern fish 1976 farming. Theor.Appl.Genet., 47:285-90
- Moyle, P.B., Comparative behaviour of young brook trout of domestic and wild origin. Prog.Fish- 1969 Cult., 31(1):51-6
- \_\_\_\_\_, Fish introductions in California: History and impact on native fishes. Biol.Conserv., 1976 9(2):101-18
- Myers, N., The sinking ark. Oxford, Pergamon Press 1979

- Nace, G.W., C.M. Richards y J.H. Asher, Jr., Parthenogenesis and genetic variability. 1. Linkage and  
1970 inbreeding estimations in the frogs, Rana pipiens. Genetics, 66:349-68
- Nagy, A. et al., Investigations on carp, Cyprinus carpio L. gynogenesis. J.Fish Biol., 13:215-24  
1978
- \_\_\_\_\_, Genetic analysis with gynogenesis. Heredity, 43:1  
1979
- National Academy of Sciences, Genetic vulnerability of major crops. Washington, D.C., National  
1972 Academy of Sciences, 307 p.
- Nei, M., T. Maruyama y R. Chakraborty, The bottleneck effect and genetic variability in populations.  
1975 Evolution, 29:1-10
- Nilsson, N.A., Interactive segregation between fish species. In The biological basis of freshwater fish  
1967 production, ed, S.D. Gerking. Oxford, Blackwell Scientific Publications, pp. 295-313
- \_\_\_\_\_, Effects of introductions of salmonids into barren lakes. J.Fish.Res.Board Can.,  
1972 29(6):693-7
- \_\_\_\_\_, The role of size-biased predation in competition and interactive segregation in fish. In  
1978 Ecology of freshwater fish production, ed. S.D. Gerking. Oxford, Blackwell Scientific  
Publications, pp. 303-325
- \_\_\_\_\_, Food and habitat of fish community of the offshore region of Lake Vanern, Sweden.  
1979 Rep.Inst.Freshwat.Res., Drottningholm, (58):126-39
- Nilsson, N.A. y O. Filipsson, Characteristics of two discrete populations of Arctic char (Salvelinus  
1971 alpinus L.) in a north Swedish lake. Rep.Inst.Freshwat.Res., Drottningholm, (51):90-108
- Nilsson, N.A. and B. Pejler, On the relation between fish fauna and zooplankton composition in North  
1973 Swedish lakes. Rep.Inst.Freshwat.Res., Drottningholm, (53):51-77
- Nyman, L., A new approach to the taxonomy of the "Salvelinus alpinus species complex". Rep.Inst.  
1972 Freshwat.Res., Drottningholm, (52):103-31
- Paine, R.T., Food web complexity and species diversity. Am.Nat., 100:65-75  
1966
- Place, A.R. y D.A. Powers, Genetic variation and relative catalytic efficiencies lactate dehydro-  
1979 genase B. EC-1.1.1.27 Allozymes of Fundulus heteroclitus. Proc.Natl.Acad.Sci., U.S.A.,  
76(5):2354-8
- Powers, D.A., Molecular ecology of teleost fish hemoglobins: Strategies for adapting to changing  
1980 environments. Am.Zool, 20:139-62
- Powers, D.A., G.S. Greaney y A.R. Place, Physiological correlation between lactate dehydrogenase  
1979 genotype and hemoglobin function in killifish. Nature, Lond., 277:240-1
- Pruginin, Y. et al., All-male broods of Tilapia nilotica x T. aurea hybrids. Aquaculture, 6(1):11-21  
1975
- Regier, H.A., Epilogue: understanding of charrs and the need for a "charr watch". In Charrs.  
1980 Salmonid fishes of the genus Salvelinus. The Hague, Dr. W. Junk bv Publishers, pp. 889-  
930
- Regier, H.A. y G. Power, Wild trout and charr watch. Paper presented to the Wild Trout Symposium  
1979 2, West Yellowstone National Park, 24-25 September 1979
- Rosenthal, H., D.F. Alderdice y P.J. Velsen, Cross fertilization experiments using Pacific herring eggs  
1978 and cryo-preserved Baltic herring sperm. Can.Fish.Mar.Serv.Tech.Rep., (844):1-9

- Schindler, D.W. y E.J. Fee, Experimental lakes area: whole lake experiments in eutrophication. 1974 J.Fish.Res.Board Can., 31(5):937-53
- Schwartz, F.J., World literature to fish hybrids with an analysis by family, species and hybrids. Gulf 1972 Coast Research Lab.Mus.Publ., (3):328 p.
- Slastenenko, P., A list of natural fish hybrids of the world. Hydrobiol.Istanbul, 4:76-97  
1957
- Soller, M., T. Brody y A. Genizi, On the power of experimental designs for the detection of linkage between marker loci and quantitative loci in crosses between inbred lines. Theor.Appl. Genet., 47:35-9  
1976
- Soule, M.E., Thresholds for survival: maintaining fitness and evolutionary potential. In Conservation: an evolutionary-ecological perspective, ed. M.E. Soule y B.A. Wilcox. Sunderland, Mass., Sinauer Associates, pp. 151-70  
1980
- Svärdson, G., Interspecific population dominance in fish communities of Scandinavian lakes. Rep. Inst.Freshwat.Res., Drottningholm, (55):144-71  
1976
- \_\_\_\_\_, Speciation of Scandinavian Coregonus. Rep.Inst.Freshwat.Res., Drottningholm, (57): 95 p.  
1979
- Terborgh, J.W. y B. Winter, Some causes of extinction. In Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective, ed. M.E. Soule y B.A. Wilcox. Sunderland, Mass., Sinauer Associates, pp. 119-34  
1980
- Turner, J., Changes in the size structure of cichlid populations of Lake Malawi resulting from bottom trawling. J.Fish.Res.Board Can., 34(2):232-8  
1977
- United Nations Environment Programme, Genetic resources: an overview. UNEP Rep., Nairobi, 1980 (5):132 p.
- Villaluz, D.K., The Lake Lanao fisheries and their conservation. Manila, Bureau of Printing, 53 p.  
1966
- Villwock, W., Gefahren für die endemische Fischfauna durch Einbürgerungsversuche und Akklimatisierung von Fremdfischen am Beispiel des Titicaca-Sees (Peru/Bolivien) und des Lanao-Sees (Mindanao/Philippinen). Verh.Int.Ver.Theor.Angew.Limnol., 18:1227-34  
1972
- \_\_\_\_\_, Das genus Aphanius Nardo, 1827. Deutsche Killifisch. Gemeinschaft Z., 9:165-85  
1977
- Walford, L. y R. Wicklund, Contribution to a world-wide inventory of exotic marine and anadromous organisms. FAO Fish.Tech.Pap., (121):49 p.  
1973
- Whittingham, D.G. y H. Rosenthal, Attempts to preserve herring embryos at subzero temperatures. Arch.Fischereiwiss., 29(1-2):75-80  
1978
- Wohlfarth, G. y R. Moav, The genetic correlation of growth-rate with and without competition in carp. Verh.Int.Ver.Theor.Angew.Limnol., 17:1702-4  
1978
- \_\_\_\_\_, The regression of weight gain on initial weight in carp. 1. Methods and results. Aquaculture, 1(1):7-28  
1972
- Yant, D.R., R.O. Smitherman y O.L. Green, Production of hybrid (Blue x Channel) catfish and channel catfish in ponds. Proc.Southeast.Assoc.Game Fish Comm., 29:82-5  
1976
- Zaret, T.M. y R.T. Paine, Species introduction in a tropical lake. Science, Wash., 182:49-55  
1973
- Zeuner, F.E., A history of domesticated animals. London, Hutchinson  
1963

APENDICE 1

Lista de participantes

Dr F. Bakos  
Jefe del Departamento de Genética  
Haltenyésztesi Kutató Intézet  
Szarvas  
Hungria

Dr Ian Johnston  
Departamento de Fisiología  
Bute Medical Building  
Saint Andrews Fyfe  
University of Saint Andrews  
St. Andrews  
Escocia, U.K.

Dr Richard Koehn  
State University of New York at  
Stony Brook  
Department of Ecology and Evolution  
Stony Brook, N.Y. 11790  
USA

Dr P.S. Maitland  
The International Union for Conservation  
of Natural Resources (IUCN)  
Avenue du Mont Blanc  
1196 Gland, Suiza

Dr Spencer Malecha,  
Sea Grant Prawn Aquaculture Program  
Anuenue Fisheries Research Center  
Area 4 Sand Island,  
Honolulu, Hawaii 96819  
USA

Prof. Dr Nils-Arvid Nilsson  
Institute of Freshwater Research  
S 170 11 Drottningholm  
Suecia

Dr Dennis Powers  
Department of Biology  
Johns Hopkins University  
Baltimore  
Maryland 21218  
USA

Dr Michael Soule  
Institute for Transcultural Studies  
905 South Normandie Avenue  
Los Angeles  
California 90006  
USA

Prof. W. Villwock  
Zoologisches Institut und  
Zoologisches Museum  
Martin-Luther King Platz 3  
2000 Hamburg 13  
República Federal de Alemania

Dr O.M. El-Tayeb  
Programa de las Naciones Unidas para  
el Medioambiente  
División de Manejo del Medioambiente  
P.O. Box 47074  
Nairobi  
Kenya

Dr H. Kasahara  
Director  
Fishery Resources and Environment Division  
FAO

Dr H.F. Henderson  
Chief, Inland Water Resources and  
Aquaculture Service  
FAO

Dr G.D Sharp  
Fishery Resources Officer  
Marine Resources Service  
FAO

Mr M. Pedini  
Fishery Resources Officer  
Inland Water Resources and  
Aquaculture Service  
FAO

Mr B.C. Zentilli  
Agriculture Department  
FAO

APENDICE 2

Propuesta para la Creación de Centros Regionales de  
Información sobre Recursos Genéticos Acuáticos

Los ecosistemas y recursos acuáticos son de crucial importancia para la población humana. Para el mejor uso de estos recursos se debe poner especial cuidado en la obtención de la información básica, en proporcionar consejos lúcidos y en promover esfuerzos en colaboración para preservar para la posteridad los recursos genéticos disponibles. A nivel internacional deben existir procedimientos directos para la resolución de problemas y controversias de importancia, relacionados con la biología, particularmente los que se refieren a la explotación de las especies ícticas. En la actualidad hay poca oportunidad para realizar investigaciones claramente necesarias tales como, por ejemplo, la identificación de los componentes subespecíficos de los recursos compartidos entre dos o más países. Proponemos la creación de centros de investigación regional donde equipos de investigadores experimentados puedan tanto aplicar sus conocimientos como orientar. Las becas, ayudas económicas suplementarias y el personal en capacitación podrían ser la base de una fuerza de trabajo adecuada para operar las unidades de investigación sobre base temporal. El programa propuesto debería incluir un Centro regional y/o centralizado para:

- I. Archivar datos genéticos y merísticos de especies y subespecies, de ciclos de vida en general, de hábitats y de fisiología.
- II. Servicio de difusión de la información:
  1. Boletines
  2. Catálogos de datos
  3. Documentación
  4. Lista de expertos que puedan responder a preguntas sobre implicaciones genéticas, biológicas y ecológicas de la preservación genética y sus alternativas.
- III. Otros Servicios: Catálogos de especies útiles para introducciones; sus orígenes y limitaciones ecológicas, y como mecanismo intermediario que registre las introducciones y facilite la evaluación posterior de su impacto general.

### APENDICE 3

#### Propuesta para la Creación de un Programa de Educación sobre la Conservación Genética de los Recursos Acuáticos

Se requiere un programa internacional de educación para proporcionar información básica a partir de la cual se pueda evaluar la diversidad y la vulnerabilidad de los recursos genéticos ícticos. Antes de que se puedan iniciar tales evaluaciones o actividades para preservar los recursos genéticos en peligro, algunas interrogantes deben ser respondidas. Estas interrogantes varían según las especies, geografía y régimen medioambiental. Pocas regiones y hábitats han sido estudiados satisfactoriamente, y son particularmente los de las zonas templadas. Por ejemplo, en la corriente de California existe una larga historia de evaluaciones sistemáticas de la abundancia de especies a toda edad, y en muchos casos desde huevos hasta adultos. Tales antecedentes proporcionan una base para la identificación de pequeñas poblaciones de distribución limitada que podrían ser vulnerables a eventos que produjeran empobrecimiento genético. Varias poblaciones endémicas pequeñas se encuentran ya bajo protección en este sistema (por ejemplo Caribaldi), principalmente a través de la legislación y creación de reservas (por ejemplo la Reserva Marina de La Jolla).

Las funciones y objetivos de organismos de las Naciones Unidas tales como el PNUMA, la FAO, la UICN y la Unesco, parecen indicar que son los adecuados para el desarrollo de tal programa. La fundamentación del programa estaría en el establecimiento de cursos de capacitación, a niveles regional y nacional. El primer nivel, de acuerdo al proyecto, estaría constituido por empleados de las instituciones relacionadas con las pesquerías, de niveles técnicos básicos, de tal manera que pudieran permanecer en los sectores operacionales o activos de sus instituciones durante un tiempo suficiente para que se pueda promover la continuidad de cualquier programa de monitoreo e identificación.

Los cursos de entrenamiento deben tener contenidos de principios ecológicos y genéticos generales a nivel introductorio. Esto se podría lograr mediante series de conferencias y prácticas de campo, que constituirían el fundamento para la identificación de los recursos vulnerables y para la elaboración de los esquemas de monitoreo posterior. Las prácticas de campo no sólo servirían para enseñar las técnicas de colecta y monitoreo, sino que podrían ser una fuente de información básica.

Un segundo nivel de talleres de capacitación, podría ser llevado a nivel regional. Aquí sería apropiado utilizar los rasgos biogeográficos naturales, tales como sistemas de drenaje y/o las características del sustrato del sistema marino para delimitar regiones (por ejemplo sistemas de manglar o de arrecife coralino). Los objetivos de estos talleres serían familiarizar a los expertos regionales en las técnicas de identificación y en la clasificación de peces, así como en la estimación de la vulnerabilidad genética y ecológica de los peces, a fin de iniciar la evaluación de los recursos regionales específicos que parezcan ser los más vulnerables. El nivel técnico de los asistentes a estos talleres no debe ser particularmente alto, pero se requeriría que tengan conocimientos generales básicos de matemáticas, biología y química.

Las ventajas del esquema de entrenamiento a dos niveles sería: (1) acumular información básica sobre los recursos ícticos regionales; (2) tener contacto directo con instituciones nacionales a fin de lograr que asimilen los objetivos y métodos del programa; (3) formar redes de comunicación que serían creadas en los niveles de mayor relevancia (niveles de trabajo de campo u operacional); (4) el programa puede ser promovido e implementado operacionalmente desde el principio, en lugar de que esto se realice en tiempos diferentes.

La repercusión podría ser orientada a dos niveles de programación y presupuesto, ya sean nacional o internacional. A nivel nacional deberían acentuarse todos los aspectos de la investigación pesquera, por ejemplo, en las áreas generales de taxonomía, toxicología, genética, ecología, fisiología, biología del comportamiento, bioquímica, estudios del desarrollo o de las etapas tempranas del ciclo de vida. Los programas anteriores podrían ser iniciados por el PNUMA, y otros organismos de las Naciones Unidas. Podrían proporcionar oportunidades de entrenamiento en talleres nacionales y regionales, a científicos jóvenes y estudiantes de naciones en vías de desarrollo del Tercer Mundo y, en los casos adecuados, tal vez a nivel de posgrado y doctorado, en los países industrializados.

Existen, ciertamente, objetivos a mediano plazo en los que la destreza y el conocimiento pueden ser transmitidos directamente. Esto podría lograrse mejor a través de la creación de programas de intercambio internacional de investigación y educación.