



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

PRUEBA ESCRITA DEL EXAMEN PREDOCTORAL

TEMA:

GENOTIPO, FENOTIPO Y MANEJO PESQUERO

Alumno:

Roberto Félix Uraga

17 de mayo de 2005.

TEMA ORIGINAL: GENOTIPO, FENOTIPO Y MANEJO PESQUERO

El presente manuscrito lo he dividido en dos partes, la primera es el resultado de la investigación bibliográfica que realicé sobre el tema y en la segunda se incluyen mis consideraciones, discusiones y opiniones personales al respecto.

Contextualización del tema “Genotipo, Fenotipo y Manejo Pesquero”

Antes de iniciar creo que es necesario contextualizar este tema, ya que considero que no solo se trata de entender los conceptos de genotipo, fenotipo y del manejo pesquero, sino de comprender también sus relaciones y relevancia para el óptimo aprovechamiento de los recursos pesqueros.

Es por esto que los conceptos genéticos son tratados en un contexto más amplio que es la genética de poblaciones y la relación e importancia que esta tiene para el manejo de las pesquerías.

Definición de Algunos Conceptos

La definición de algunos de los conceptos (excepto el último) fue tomada de uno o de los dos sitios de Internet siguientes:

<http://www.genome.gov/sglossary.cfm>

http://www.biochem.northwestern.edu/holmgren/Glossary/Definitions/Def-P/population_genetics.html

Gen: Es la unidad física y funcional de la herencia, que se pasa de padres a hijos. Los genes están compuestos por fragmentos de ADN y la mayoría de ellos contiene la información para elaborar una proteína específica. En términos generales se habla de un conjunto de información que lleva consigo una instrucción en particular que generalmente codifica una proteína. El ADN que conforma los genes, almacena la información genética en el núcleo. Existen fragmentos de ADN que no codifican una proteína, codifican otras moléculas como el ARN estructural y a esos también los debemos denominar genes.

Alelo: Se le llama alelo a cada uno de los genes del par que ocupan el mismo lugar en los cromosomas homólogos. Una de las formas variantes de un gen en un locus o de un marcador particular en un cromosoma. Diferentes alelos de un gen producen variaciones en las características hereditarias tales como el color del cabello o el tipo de sangre. Los alelos son formas alternas de un gen, que

difieren en secuencia o función. Los alelos que varían en secuencia tienen diferencias en el ADN, como supresiones, inserciones o sustituciones.

Locus: Es el lugar del cromosoma donde está localizado un gen específico, es la dirección física del gen. El plural es "loci". Nuestros cromosomas contienen entre 30 y 40 mil genes, distribuidos en los 23 pares de cromosomas. El locus es el sitio de un cromosoma donde se localiza un gen determinado. En otras palabras, es la dirección de este gen.

Genotipo: Conjunto de la información genética de un organismo, heredada de sus padres y contenida en los cromosomas. Conjunto de los genes de un individuo, incluida su composición alélica. El genotipo se refiere a la constitución genética del individuo, en otras palabras, el genotipo está dado por los alelos localizados en un locus particular de un cromosoma de un individuo. La constitución alélica diploide de un individuo es su genotipo

Fenotipo: Manifestación visible del genotipo en un determinado ambiente. El fenotipo es el conjunto de rasgos o características observables de un organismo. Por ejemplo, el color del cabello, el peso o la presencia o ausencia de una enfermedad. El fenotipo es siempre algo que podemos observar. Un fenotipo es de algún modo la expresión o el resultado de la constitución genética de ese organismo y está determinado por los genes y por el ambiente en que el individuo crece y se desarrolla.

Genética de poblaciones: El estudio de la variación en los genes entre un grupo de individuos.

Manejo pesquero: La aplicación del conocimiento científico a los problemas que se tienen para determinar el rendimiento óptimo de las pesquerías comerciales. El manejo y la conservación de las pesquerías implican que se obtenga el rendimiento máximo sostenido de estas pesquerías. O sea, maximizar la captura y conservar el recurso (Allendorf et al. 1987). La Sociedad Ecológica de América defiende otra definición que da énfasis a la consideración holística de las interacciones entre los componentes del ecosistema para lograr la sustentabilidad a través del manejo adaptativo y de las consideraciones del ambiente físico (Botsford et al. 1997).

TEMA AMPLIADO: LA GENETICA DE POBLACIONES Y EL MANEJO DE PESQUERIAS

Introducción

Actualmente existe una gran preocupación por el estado que presentan los recursos pesqueros a nivel mundial. La captura de peces marinos parece haber alcanzado su límite más alto, alrededor de 100 millones de toneladas anuales. La pesca proporciona empleo directo a casi 200 millones de personas y representa el 19% del consumo humano total de proteína animal (Botsford et al. 1997).

Una preocupación mayor es la pérdida de la biodiversidad, la cual se ha centrado principalmente en los entornos terrestres y particularmente en la elevada destrucción de los bosques tropicales. En el medio marino, la lista de las especies extintas se reduce a algunos mamíferos, aves, y peces anádromos; pero su diversidad de especies y de ecosistemas, es más grande y posee más *Phyla* y Clases que en el medio terrestre. La biodiversidad ha sido definida a grandes rasgos como “el grado de variedad de la naturaleza” y como “la variedad de la vida y sus procesos” y abarca todas las especies de plantas, animales y microorganismos, junto con sus ecosistemas (Smith 1996). La biodiversidad se manifiesta en tres niveles:

- a. Diversidad genética: la suma total de información contenida en los genes de los distintos organismos de una especie.
- b. Diversidad de especies: el número y frecuencia de los organismos en una determinada zona.
- c. Diversidad de ecosistemas: la variedad de los procesos ecológicos, comunidades y hábitats dentro de una región.

Muchas de las poblaciones de peces en el mundo están sobreexplotadas y los ecosistemas que las sostienen han sido degradados. Las consecuencias no intencionales de la pesca, como la destrucción del hábitat, la mortalidad incidental de las especies no objetivo, los cambios evolutivos en la demografía poblacional y los cambios en la función y estructura de los ecosistemas, son cada vez más evidentes. A la fecha, el manejo de las pesquerías no ha sido efectivo en la

mayoría de los casos. Se ha enfocado a maximizar la captura de una sola especie objetivo y se han ignorado el hábitat, los depredadores y presas de las especies objetivo y otros componentes e interacciones del ecosistema (Pikitch et al. 2004).

El manejo de las pesquerías tradicionalmente se ha orientado a la determinación del máximo rendimiento sostenido (MRS) involucrando los aspectos mas inmediatos del recurso de interés, esto es, la abundancia y el tamaño disponible para la cosecha. Poca atención se ha dirigido hacia el entendimiento de la genética de estas poblaciones. La abundancia y características de una población, no puede asegurarse para el futuro simplemente por la elección de un adecuado balance entre la captura y el reclutamiento para maximizar el rendimiento. Un programa de manejo exitoso de las pesquerías no puede ignorar los efectos genéticos que causan las decisiones del manejo (Allendorf et al. 1987). Un requerimiento primordial para el manejo de pesquerías es obtener una descripción detallada de los stocks de peces y comprender como interactúan estos stocks entre ellos mismos y su medioambiente (Ferris y Berg 1987), además de definir los límites geográficos de su distribución (Rowe y Hutchings 2003).

La Estructura de las Poblaciones

La mayoría de las poblaciones de organismos a nivel mundial presentan una subestructura natural en forma de manadas, bandadas, cardúmenes, colonias u otros tipos de agregaciones (Hartl y Clark 1997).

Cuando una especie ocupa un territorio muy amplio, la diferenciación local o regional es normalmente notable en la forma de subpoblaciones. Cada una de ellas puede consistir de numerosas colonias que se diferencian en una magnitud menos notable. Es bien conocido que la existencia de barreras geográficas favorece mucho la formación de una subestructura entre los individuos conespecíficos (subpoblaciones, stocks, subespecies, razas, etc.) y, eventualmente con el paso del tiempo, de nuevas especies. Sin embargo, incluso si tales barreras no existieran, el gran tamaño del área de distribución, comparado con las distancias de la migración individual, puede impedir a las especies formar una sola unidad panmítica, y esto produce un tipo de aislamiento al cual se le

llamó "aislamiento por distancia" (Wright 1943, citado en Kimura y Weiss 1964). Los individuos que viven más cerca tienden a ser más parecidos que los que viven más separados (Kimura y Weiss 1964).

En algunos casos, como en los peces de agua dulce que se encuentran aislados de sus conespecíficos de otros lagos o ríos, es posible dividir la población sin ambigüedad en unidades discretas, pero en otros casos como los peces marinos, las subunidades también pueden ser definidas aunque no tan claramente como las de agua dulce (Chakraborty y Leimar 1987).

El problema clásico y más frecuentemente encontrado en manejo de pesquerías es la identificación de las unidades de manejo. En muchas especies de peces hay una estructura aparente, más o menos distinta y discreta de subpoblaciones (Allendorf et al. 1987). La identificación de estas unidades de manejo es una de las principales actividades y procedimientos que subyacen a la aplicación práctica de la genética de poblaciones a los problemas del manejo de pesquerías (Utter et al. 1987).

Una parte considerable de la variación observada entre subpoblaciones (o stocks), se debe principalmente a las contribuciones comparativamente grandes de los factores ambientales a la variación fenotípica dentro de las poblaciones. A menudo se ha asumido que al menos una parte de la variación observada entre las subpoblaciones es determinada genéticamente. Desafortunadamente, existe poca información respecto a la importancia relativa de los factores ambientales y genéticos que afectan las diferencias fenotípicas observadas en las poblaciones naturales de peces. La gran variación fenotípica observada entre las subpoblaciones, ha contribuido a desarrollar un panorama confuso del rol de la genética en el manejo de pesquerías (Allendorf et al. 1987).

Existen dos requerimientos para la explotación de varias subpoblaciones (stocks). Primero, que la estructura de la población debe ser determinada. Segundo, la pesquería debe ser regulada para que la explotación de cada subpoblación (stock) pueda ser controlada individualmente (Allendorf et al. 1987). En el manejo de pesquerías está bien establecido que la regulación de las capturas debe basarse en la dinámica poblacional de las unidades reproductivas individuales. Siguiendo

este principio, se previene el agotamiento inevitable de las unidades más débiles que se explotan a una tasa considerada óptima para las unidades más fuertes. Este tipo de manejo requiere una comprensión adecuada de la estructura de la población de la especie o recurso pesquero en cuestión (Utter 1985).

No obstante, a pesar de su importancia, la estrategia de conocer la estructura poblacional (identificar las subpoblaciones o stocks) ha sido practicada muy raramente en el manejo pesquero, debido a la dificultad para la identificación adecuada de los stocks que contribuyen a la pesquería (Pella y Milner 1987).

La descripción de los componentes (subpoblaciones o stocks) de las pesquerías, no está limitada al uso de diferencias genéticas entre las poblaciones ya que no se trata de describir las relaciones reproductivas, sino simplemente identificar los diferentes grupos de peces. Por ejemplo, una diferencia morfológicamente estable entre dos subpoblaciones es igualmente útil para identificar individuos, ya sea que la diferencia esté basada genéticamente o ambientalmente. (Allendorf et al. 1987).

El Concepto de Stock

Murray (1961, citado en Booke 1981) ofrece una variedad de significados para la palabra stock, y muestra que desde el siglo XIV el significado ha sido inverso al actual. La palabra figurativamente significa, en el sentido biológico, el tronco o tallo de un árbol viviente que se distingue de la raíz y ramas. Durante el siglo XIV, la palabra stock se usó para referirse a la fuente de una línea de descendencia. Charles Darwin usó el término para referirse a las razas que descienden de un solo stock natural, y en el siglo XX la palabra define un grupo de organismos relacionados. El término se ha usado para definir las unidades dentro de una especie las cuales pueden ser una raza, una población, o una subpoblación (Booke 1981).

En su contribución al simposio sobre la identificación de subpoblaciones de peces, publicado en 1957 por el U.S. Fish and Wildlife Service, John Marr señaló que la gente no siempre está de acuerdo sobre el significado de la palabra "stock". De acuerdo con la definición de Marr, un stock es una población que actualmente está siendo pescada y manejada. Así definida solamente en relación a la actividad

humana, la palabra “stock” no pretende describir una unidad natural de organización biológica. Por otro lado, una subpoblación es un grupo de peces que se entrecruzan más o menos al azar consigo misma y menos a menudo con otras subpoblaciones. Las subpoblaciones son unidades naturales de organización biológica definidas por vínculos de parentesco. Ya que un stock de peces, como se reconoce por los manejadores de la pesquería, puede comprender más de una subpoblación; se requiere de la identificación de las subpoblaciones existentes para contar con una base biológica para el manejo de esta mezcla de stocks. Por esta razón deberíamos hablar de un “concepto de subpoblación” más que de un “concepto de stock”. (Hedgecock 1984).

En términos generales, una unidad de stock es un grupo de organismos que pueden tratarse independientemente, porque cada uno puede responder singularmente a la explotación o a las perturbaciones medioambientales. Las perspectivas y recomendaciones políticas del Simposio Internacional sobre el Concepto de Stock (Spangler et al. 1981), indican que no es necesario estar de acuerdo en una única definición de stock para comunicar efectivamente el concepto para propósitos del manejo de pesquerías. Los principales aspectos del concepto de stock parecen incluir la segregación temporal y espacial así como el aislamiento reproductivo. Generalmente se reconoce que para propósitos de manejo, una unidad de stock no necesariamente corresponde a un grupo genéticamente distinto, ya que las características fenotípicas a menudo son usadas para la identificación de los stocks (Saila y Martin 1985).

Hay dos preguntas importantes que debemos responder en la definición de stock. Primera, ¿para qué queremos usar la definición? Esta sería la consideración operacional. La segunda pregunta es, ¿qué sabemos sobre el presunto stock? Esta es la consideración sobre la información.

A menudo la primera consideración, o la operacional, es la principal. Si nosotros consideramos la pregunta operacional exclusivamente, nos podemos enrolar en algunos aspectos biológicos inapropiados, no obstante, la definición de stock es funcional. Por ejemplo, consideremos el manejo del atún en el Ecuador y su mar territorial. Aunque los peces van y vienen a esta área, el gobierno Ecuatoriano

cree que este atún es su stock, para manejarlo como el quiere. Así, la definición de stock de Ecuador es puramente operativa y tiene muy poca base biológica. Similarmente, una definición operacional se necesita a veces simplemente debido a la carencia de conocimiento. Un buen ejemplo es la pesquería de arrastre multiespecífica en el Golfo de Tailandia donde un solo arrastre captura varias docenas de diferentes especies simultáneamente, haciendo difícil el manejo de cualquier especie sola. Hace varios años durante su trabajo en esta pesquería de arrastre, John Gulland calculó la captura por esfuerzo y determinó una curva de producción para todas las especies juntas. No obstante la gente dijo “Usted no puede hacer eso”, su solución fue, de hecho, probablemente la mejor que se pudo alcanzar, y dio una respuesta. Su técnica relacionó la abundancia y la productividad del stock (en este caso, hecho de muchas especies) con la tasa de explotación.

Estos son casos extremos, nosotros esperamos que más a menudo haya un equilibrio entre los componentes operacionales e informativos en la definición de un stock. Algo de la incertidumbre acerca de la utilidad del concepto de stock ha sido el resultado de pasar por alto la primera pregunta. Si nosotros solo miramos las consideraciones biológicas en un caso abstracto, podríamos formular definiciones de stock que no tengan uso en el manejo real. Stock es una población de organismos que (idealmente), comparten un pool genético común, que es lo suficientemente discreto (y normalmente identificable) para garantizar la consideración como un sistema auto-perpetuante que puede ser manejado.

Todo el manejo de pesquerías está basado implícitamente en el concepto de stock. El stock es simplemente aquella entidad desde donde se toman las capturas, y los problemas de la definición a menudo se reducen a una cuestión de escala geográficamente apropiada. En muchas pesquerías el stock simplemente se define por el método usado para evaluarlo. Por ejemplo, el análisis de la población virtual, algunas veces llamado análisis de cohortes, define las abundancias históricas de un stock simplemente sumando las capturas que de él se obtuvieron, con una corrección de la mortalidad y otras variables. Hay un problema en decidir que capturas incluir, pero, no obstante, el método define el

stock. Similarmente, en modelos de producción, nosotros graficamos la abundancia en forma de captura por unidad de esfuerzo contra el esfuerzo. Presumiblemente, la abundancia disminuye a medida que la tasa de remoción se incrementa. Al hacer un modelo de producción, la cuestión otra vez es si ponemos juntar la población geográficamente dispersa o si la mantenemos separada. Quizás la clave es si la reproducción de un segmento contribuye al reclutamiento de otro segmento. Una forma de responder esta clase de preguntas es hacer un estudio de marcado y ver si los peces realmente se mueven. De nuevo, nos enrolamos con un concepto de stock de facto, porque el stock se define simplemente por saber hasta donde llegan las marcas. Esto nos lleva sin embargo a un problema bastante típico: los stocks tienen los bordes indefinidos (Alec MacCall 1984).

A menudo se ha argumentado que la subdivisión de la población es una propiedad adaptativa de las especies. Un stock es equivalente a una subdivisión de la población. Sobre el problema de la diversidad genética, sin embargo, el enfoque de la población es como una colección de stocks. Una medida de la estructura del stock de la población, es un importante atributo. Si uno asume que las características de la historia de vida y las subdivisiones de una población han sido determinadas por selección natural, entonces la estructura por stock de una población es una característica adaptativa de una especie. La estabilidad de una población e incluso su persistencia pueden depender del mantenimiento de la estructura de stock (Thorpe et al. 1981).

El problema general de la identificación de stocks involucra el reconocimiento de patrones, la cual es una disciplina que evoluciona rápida y ampliamente. Más específicamente, la identificación de stocks es análoga a la clasificación taxonómica, que ordena los individuos dentro de grupos sobre la base de sus relaciones. Estas relaciones pueden ser genéticas o evolutivas (filogenéticas) o simplemente pueden referirse a similitudes en el fenotipo (relaciones fenéticas). Sin embargo, la variación temporal en los caracteres fenotípicos debe considerarse con mucho cuidado (Saila y Martin 1985).

Stock Genotípico y Stock Fenotípico

La definición de la palabra stock, como se aplica en ciencia pesquera, se presenta en sus formas general y precisa. La definición general es que es un grupo de especies, o una población, de peces que se mantienen y se sostiene a si misma con el tiempo en una área definida. En una forma más precisa, stock genotípico es definido como un grupo de peces manteniéndose en el equilibrio de Castle-Hardy-Weinberg. Esto implica que debe tener una frecuencia constante de genes para un carácter particular en cada generación. Si no hay una base genética disponible para la caracterización del stock, entonces la definición del stock fenotípico tiene que ser reconocida como un grupo de peces que mantiene características que se expresan de una o más maneras, dependiendo del tipo o del medio ambiente en que vive.

Es importante presentar una definición de trabajo de la palabra stock que pueda ser aplicada en ciencia pesquera. La definición de stock se requiere ya que el término ha sido usado vagamente en muchas formas para delimitar grupos de peces de la sistemática (taxonomía) para aplicarse a las unidades de manejo. Por lo tanto, es difícil establecer un concepto razonable basado en la definición de stock con medidas cuantitativas, especialmente para los objetivos y propósitos del manejo.

A finales del siglo XIX y principios del XX, los biólogos marinos comenzaron a referirse a grupos del arenque marino *Clupea harengus*, y a varias subunidades del salmón del Pacífico, como razas o stocks basados en la distinción de sus características merísticas y morfométricas. Ricker (1972, citado en Booke 1981) ha explicado que los stocks de peces probablemente tienen individualidad genética. Muchos biólogos han sido conscientes de los componentes genéticos y ambientales que afectan el fenotipo, la última expresión de un carácter. Sin embargo, un problema surge cuando uno intenta distinguir entre los efectos genéticos y ambientales, o naturales contra los adquiridos, en caracteres expresados que podrían usarse para separar un grupo de peces de otro. Un stock de peces por consiguiente tiene que ser una entidad real, medible, que es

mantenida (por completo en su ciclo de vida) y sostenida (por reproducción) y que puede ser reconocida y quizás manejada.

Este rompecabezas se puede enfrentar intentando definir un stock de peces en términos que permitan el desarrollo de pruebas y de hipótesis. La definición general de stock, aunque no fácilmente cuantificable, toma en cuenta el flujo de genes dentro del stock y la exposición de estos genes al tiempo y al ambiente. El último proceso se reconoce como evolución. Los genes que constituyen las unidades de material viviente que conforman a los individuos de los stocks de peces, son los soportes principales de la evolución.

La definición más precisa de stock incluye una medida genética que puede reconocerse durante el tiempo de la generación. Para evaluar la frecuencia genética se deben examinar grandes muestras de peces para estar seguros de la constancia en la frecuencia de los genes, o de las diferencias que implicarían la mezcla de stocks.

Si la caracterización del stock genotípico no es posible, entonces tiene que reconocerse y definirse como un grupo, o población de peces que mantienen sus características, las cuales se expresan en una o mas formas dependiendo del tipo de ambiente o del lugar. Un stock fenotípico puede verse rápidamente por una variación notoria, una diferente tasa de crecimiento, o cualquier diferencia de algún carácter definible, si el genotipo fue controlado o afectado en su expresión por el ambiente (Booke 1981).

El rol potencial de los factores genéticos que afectan la variabilidad fenotípica intraespecífica ha sido más reconocido para peces que para otros vertebrados en su medio natural o semidomesticados, que han sido manejados. Un ejemplo obvio es el concepto de stock en peces, el cual demuestra el reconocimiento general de la diferenciación genética acoplada con la divergencia fenotípica entre las subpoblaciones de la misma especie de peces. Existe una desproporción entre el poco esfuerzo dirigido hacia los aspectos genéticos de la biología pesquera y el manejo. Las razones de esta tardía aplicación de los principios básicos de la genética al manejo pesquero serían:

*La sistemática del manejo de pesquerías, tradicionalmente ha sido dominada por los taxónomos.

*Las relaciones Genotipo-Fenotipo en los peces, son diferentes a las de otros vertebrados. Esta diferencia se debe al hecho de que los peces viven en el agua, haciendo más difícil el observarlos y obtener estimaciones gruesas de los parámetros genéticos básicos. Estas usualmente están disponibles para planear la reproducción y manejo de las especies no acuáticas.

*Los genetistas quizás no se han inclinado a desarrollar esquemas de manejo para la conservación de stocks de peces, que tienen dificultad para definir sus límites naturales.

No obstante que los caracteres morfológicos en diferentes organismos no pueden ser comparados directamente, parece ser que los peces son fenotípicamente más variables que otros vertebrados. En particular, diferencias conspicuas importantes en la tasa de crecimiento y en el tamaño del cuerpo son observados frecuentemente, tanto dentro como entre subpoblaciones en muchas especies de peces. Estas formas también difieren en talla y color en la madurez sexual, y son frecuentemente diferentes con respecto a un número de características ecológicas. Los residentes de la misma especie y sus formas migratorias se conocen para la mayoría de las especies de salmónidos, y comúnmente crecen considerablemente más que sus contrapartes residentes. Similares diferencias en talla se encuentran entre individuos de la misma población. La variación en la edad y el tamaño del cuerpo de los machos maduros, constituye un ejemplo frecuentemente observado en poblaciones anádromas de salmones del Atlántico y del Pacífico. Parece que los peces exhiben niveles más altos de variación, tanto entre como dentro de las poblaciones. La variación entre poblaciones de la misma especie de peces, también es mucho mayor que la observada en otros vertebrados.

La variación fenotípica más grande observada en especies de peces, no esta necesariamente asociada a una mayor variabilidad genética. Hay datos que sugieren que la relación genética-fenética en peces puede ser algo diferente de la de otros vertebrados. La heredabilidad es la proporción de la variación fenotípica

total dentro de una población, que es debida a las diferencias genéticas entre los individuos. El rango de la heredabilidad va desde 0 (cuando toda la variación es completamente ambiental) hasta 1 (cuando toda la variación es debida a diferencias genéticas). La heredabilidad para los rasgos similares como la longitud del cuerpo y el peso es generalmente mucho más baja en las poblaciones de peces que en las de otros vertebrados. Al principio las estimaciones de la heredabilidad obtenida de peces, puede parecer inconsistente con la claramente mayor variación fenotípica observada. Sin embargo, los niveles más altos de variación fenotípica, acoplados con la baja heredabilidad, nos indican una mayor susceptibilidad a los factores ambientales. Esto no es una sorpresa considerando algunas de las características fisiológicas de los peces. Primero, la indeterminada capacidad de crecimiento de la mayoría de los peces, les permite un mayor ajuste a los factores ambientales, tales como la disponibilidad de alimento y el hacinamiento, que es posible para la mayoría de otros vertebrados. Segundo, los peces son más sensibles que los pájaros y mamíferos homeotérmicos a las variaciones en temperatura que afectan directamente los procesos metabólicos. Tercero, la edad y talla de madurez están interrelacionadas en los peces en una forma que les permite gran flexibilidad sin pérdida de éxito reproductivo. Sin embargo se debe mencionar que la heredabilidad de los rasgos merísticos en peces, es generalmente bastante alta. Esto no es inconsistente con lo antes mencionado, ya que los rasgos merísticos son a menudo establecidos en el desarrollo temprano.

Hasta el siglo pasado, hubo solo interacciones mínimas entre las disciplinas de genética de poblaciones y el manejo pesquero. El conocimiento de las aplicaciones existentes de la genética a la biología pesquera durante este período, no se ha reflejado adecuadamente en las prácticas de manejo pesquero. Los peces tienen varias características que los distinguen de otros vertebrados que han sido objeto de un manejo extensivo. Los peces son prácticamente invisibles en su hábitat natural, haciendo que su localización y evaluación de abundancia a menudo sea difícil o imposible. Los atributos como organismos poiquilotermos, con capacidad de crecimiento indeterminada y las extensas variaciones fenotípicas,

con un considerable componente ambiental, han tendido a enmascarar las relaciones genéticas-fenéticas. Tales atributos acoplados con los cruzamientos aparentes o inobservados, han sugerido algunas divisiones taxonómicas y han fallado aun para identificar grupos genéticamente distintos.

La aplicación de la genética al manejo pesquero también ha sido confusa por los vagos objetivos del manejo. La genética y el manejo pesquero pueden interactuar en varias formas. Cuando la estructura genética de la población de una especie es conocida, la distribución de las subpoblaciones y su contribución a las pesquerías puede ser estimada. La regulación de la explotación para proteger las poblaciones más débiles puede hacerse basándose en estas distribuciones. Los cambios genéticos dentro de una población debidos a la explotación diferencial son difíciles de medir. Tales cambios son importantes para identificar y regular los efectos drásticos y de largo plazo que pueden tener sobre una población (Allendorf et al. 1987).

Métodos de Identificación de Stocks

Datos Históricos

Los estudios de Mendel (1866) identificaron primero las unidades de la herencia, las cuales posteriormente fueron llamadas genes por Johannsen (1909). Al inicio de los años 30s se desarrollaron considerables teorías respecto a la dinámica de los genes Mendelianos. Un marco conceptual de las interacciones de la mutación, migración, selección y deriva; en la creación, mantenimiento, y distribución de los genes Mendelianos en las poblaciones naturales, fue establecido en los escritos de Fisher (1930), Haldane (1932) y Wright (1932). Muy poca información empírica estuvo disponible para relacionar este fundamento teórico por más de 30 años. Una excepción fue la detección de los niveles regulares de genes mortíferos recesivos detectados en *Drosophila* (Dubinin et al. 1937). También, el conocimiento de la herencia de los grupos sanguíneos, estaba en aumento en los años 30s. De hecho, los grupos sanguíneos en peces proporcionaron prontas y extensas observaciones sobre la estructuración intraespecífica de las poblaciones basadas en la información de los genes Mendelianos (Utter et al. 1987).

La necesidad de la descripción taxonómica, eventualmente dio la vía, con el desarrollo de la teoría moderna de la pesca en los años de 1950s, a una necesidad biológica para identificar las subpoblaciones. El trabajo de Ricker, Beverton, Holt y otros, demostró que es posible pescar una población hasta el punto en que no es posible recuperarse a si misma, un proceso que Cushing, mas tarde llamó “sobrepesca del reclutamiento”. Tan pronto como este problema fue reconocido, la ciencia pesquera empezó a enfatizar el proceso de reproducción y la necesidad para identificar las unidades poblacionales responsables de esa reproducción (Hedgecock 1984).

Un revolucionario avance en la habilidad para identificar genes Mendelianos ocurrió debido a dos descubrimientos en los años 50s. Watson y Crick (1953) descubrieron la estructura de la molécula del DNA, el cual finalmente clarificó la relación directa entre los genes y las proteínas. Este conocimiento fue seguido por el desarrollo de los procedimientos electroforéticos los cuales permitieron una rápida y confiable identificación de las variaciones de proteínas que reflejan las diferencias genéticas simples. La facilidad con que las variantes Mendelianas podían ser descubiertas ahora por la electroforesis (contrastó con la previamente gran dificultad para descubrir tal variación), produjo una proliferación de estudios descriptivos de las variantes Mendelianas de proteínas en muchos organismos. Eventualmente, los estudios clásicos de Lewontin y Hubby (1966) en *Drossophila* y el de Harris (1966) en el hombre, claramente han sugerido que los niveles substancialmente más altos de variación genética existen a lo largo de todas las clases de organismos previamente conocidos. La herencia simple observada para los grupos sanguíneos en el hombre y otros vertebrados, hizo pensar en la existencia de marcadores Mendelianos similares en peces y condujo a estudiar los grupos sanguíneos en peces como el atún, sardinas y salmones. La utilidad anticipada de estos estudios para la identificación de las variaciones Mendelianas, no se completó, en algunos casos, debido a las limitaciones técnicas tales como la fragilidad de los eritrocitos de peces y las dificultades para la producción y preservación del antígeno que las distingue (Utter et al. 1987).

Técnicas Fenotípicas

Desde los años 60s han surgido avances técnicos en el campo de la biología molecular y el uso de caracteres moleculares en la biología pesquera se ha incrementado dramáticamente (Ryman y Utter 1987). Teóricamente, los datos moleculares son superiores para la identificación de stocks, debido a que tienen una base genética. Pero aún con este auge en los trabajos moleculares, también han ocurrido avances paralelos en los conceptos y técnicas para la observación, colecta y análisis de datos morfológicos. Se puede ver un resurgimiento de los estudios morfométricos. El mejor recurso de los morfólogos es continuar con los estudios de la variabilidad morfológica, pero a la luz de sus relaciones con otros caracteres moleculares. De esto surgirá inevitablemente un mejor entendimiento de los caracteres morfológicos. Como lo mencionó Lewontin (1984, citado en Winans 1985) "a menudo ocurre que la diferenciación morfológica observada es clara y estadísticamente significativa, mientras que las diferencias en la frecuencia de los genes es menos potente para discriminar poblaciones y especies".

La ausencia general de marcas naturales o rápidamente visibles dentro de las especies, ha resultado en una variedad de procedimientos de marcados artificiales mas o menos exitosos. Los métodos tradicionales como las marcas de alambres codificados o las grapas para las aletas, han dado a los manejadores de pesquerías una herramienta valiosa para identificar los grupos específicos de peces, pero estos métodos son difíciles de usar y requieren de un considerable esfuerzo y son muy costosos (Ihssen et al. 1981).

Las marcas naturales requieren procedimientos mas complicados para su detección y su utilidad debe ser probada. Ellas incluyen los conteos de escamas, infestación de parásitos, caracteres morfométricos y merísticos, composición química elemental y caracteres genéticos. Todos estos caracteres excepto los genéticos pueden afectarse fuertemente por las condiciones ambientales, por esto se requiere un examen anual y una revisión de los estándares (Pella y Milner 1987).

Uno de los métodos tradicionales para distinguir stocks de peces, ha sido la examinación comparativa de caracteres merísticos como el número de escamas

en una serie lateral o en la profundidad del cuerpo. Sin embargo, está bien documentado que tales caracteres son altamente sensibles a las variaciones ambientales (Ferris y Berg 1987).

Algunos de los desarrollos más nuevos para coleccionar y usar los datos morfológicos para la identificación de stocks de peces se han tenido en tres áreas: 1) Tipos de caracteres, 2) Procedimientos de colecta de información, y 3) Análisis estadísticos

1) Tipos de caracteres morfológicos: Un biólogo que estudia la variación morfológica hace conteos de elementos a lo largo de partes específicas del cuerpo y mide las distancias entre algunos puntos de referencia fáciles de distinguir. En otras palabras colecta datos merísticos y morfométricos. Los caracteres merísticos mas frecuentemente usados son el conteo de escamas y los radios de las aletas. El conteo de escamas puede ser sobre la línea lateral, o las que están arriba y debajo de la línea lateral, las escamas al pedúnculo caudal, las anteriores a la aleta dorsal, etc. También pueden contarse los radios de cada una de las aletas. Otros caracteres que se usan frecuentemente son el conteo de vértebras, número de branquiespinas y dientes, entre otros. Antes las medidas tradicionales eran la longitud, el ancho y lo grueso del pez. Actualmente se cubre toda la forma del pez con una red uniforme de medidas de distancia en forma cruzada. Este patrón entrelazado de mediciones a lo largo del cuerpo es llamado Truss network (Humphries et al. 1981, citado en Winans 1985). Este mismo procedimiento de mediciones también es aplicable a los otolitos en donde además se pueden estudiar los contornos o formas, utilizando análisis de Fourier (Campana y Casselman 1993).

2) Colecta de datos: En algunos casos para el conteo de escamas o de radios es necesario usar microscopio, en otros casos como el conteo de vértebras se requiere de fotografías con rayos X. También se pueden digitalizar imágenes y usar modernos programas para el conteo o medición de algunos caracteres, estas metodologías son en la actualidad herramientas muy precisas y confiables que ahorran mucho tiempo y esfuerzo.

3) Análisis estadísticos: Hay una diferencia básica entre los caracteres merísticos y los morfométricos. Los merísticos son cantidades discretas y solo tienen valores

enteros. En contraste, los caracteres morfométricos son continuos y tienen valores de los números reales. Por consiguiente los caracteres merísticos y los morfométricos no deberían considerarse para los mismos análisis estadísticos. Sokal y Rohlf (1981) recomiendan transformar los caracteres merísticos con raíces cuadradas y los datos morfométricos con logaritmos en base 10. El análisis multivariado de los datos morfométricos usualmente permite identificar las diferencias en talla y forma entre los individuos y grupos (Winans 1985).

Técnicas Genotípicas

La identificación de los stocks con marcas genéticas, son preferibles a las de cualquier método mecánico disponible ya que tienen algunas cualidades muy atractivas. Quizás la más atractiva sea que la marca genética es, por definición, un rasgo heredable. No necesita ser aplicada a cada pez en cada generación, por consiguiente, más bien es una característica "incorporada" a ese grupo de peces. El corolario de esto es que las marcas genéticas son estables a través del tiempo ya que ellas no se desgastan. Otra característica deseable es que hay cientos de loci que codifican proteínas y secuencias de nucleótidos, cualquiera de estos es potencialmente útil para la identificación de stocks específicos de peces (Ferris y Berg 1987).

El uso efectivo de los caracteres genéticos, se ha vuelto posible recientemente a través del desarrollo de procedimientos para la identificación de las variantes alélicas en un gran número de loci. La composición genotípica de un individuo o una población puede considerarse como una marca genética que en muchas situaciones distingue un individuo o una población de otras. Debido a su capacidad de diferenciación, las marcas genéticas se están convirtiendo en parte importante del manejo pesquero.

Las marcas genéticas tienen dos aplicaciones mayores: la identificación de la estructura genética de la población y, cuando se conoce la estructura de la población, la examinación de las mezclas de poblaciones con base en esta información.

El caso más simple para la examinación de mezclas de poblaciones ocurre cuando se fija cada población participante para uno o más alelos que no ocurren

en la otra población que contribuye a la mezcla. En este caso, cada individuo puede ser clasificado sin ambigüedad con respecto a la población a la cual pertenece. Los ejemplos más sobresalientes pertenecen a situaciones en las cuales se requiere la identificación de las especies, en ausencia de características morfológicas obvias de la especie. Una aplicación obvia en el manejo de pesquerías se refiere a la identificación de los huevos y larvas de los peces. Desafortunadamente estas aplicaciones han sido muy descuidadas hasta la fecha. Igualmente las especies emparentadas pueden identificarse fácilmente a través de las diferencias alélicas fijas (Pella y Milner 1987).

A pesar del incuestionable poder de la electroforesis para revelar variación genética, debe tenerse en mente que una muestra electroforética de 100 loci apenas representa menos del 1% del número total de genes de un organismo diploide particular. También se debe recordar que la electroforesis detecta solamente una parte de la variación genética en un loci estudiado. Por consiguiente, es importante notar que las diferencias en las frecuencias entre las colecciones de individuos muestreados en distintas localidades o en diferentes épocas, usualmente son evidencia confiable para la diferenciación genética entre las poblaciones muestreadas. Pero la ausencia de tales diferencias no es, en sí misma, evidencia positiva de que las muestras fueron extraídas de una población panmítica (Utter et al. 1987).

En la práctica, los procedimientos más comúnmente usados para estudiar la estructura de la población es coleccionar un número de muestras de diferentes localidades. Los datos coleccionados de esta forma dan información acerca de la estructura, pero vale la pena señalar que el panorama obtenido, puede ser una simplificación de la situación real. Si uno quiere una buena visión de la estructura existente, se requiere un muestro extensivo sobre el rango total de la especie. Las diferencias genéticas entre las subpoblaciones evolucionarán en el curso del tiempo si hay poco o nulo flujo de genes entre ellas. La cantidad de flujo genético necesario para prevenir la diferenciación, depende de la fuerza evolutiva responsable de la diferenciación entre las subunidades. Estas fuerzas diferenciadoras son la selección natural, la deriva génica y la mutación. La presión

selectiva de las condiciones variantes bajo las cuales viven los individuos de las diferentes subunidades resulta en la adaptación a las condiciones locales. Las diferencias en las frecuencias de los alelos y en los valores promedio de los caracteres cuantitativos que acompañan tales adaptaciones locales, constituyen la variación genética entre las subpoblaciones, que es de fundamental importancia desde el punto de vista del manejo y la conservación. Si las subpoblaciones han estado lo suficientemente aisladas para permitir que las frecuencias alélicas deriven separadamente, entonces la adaptación local también será esperada (Chakraborty y Leimar 1987). Las frecuencias genotípicas y alélicas que caracterizan una población, usualmente son estables (Utter 1984).

La divergencia genética que podemos esperar encontrar entre las poblaciones de mamíferos conespecíficos y peces, son del orden de solo un pequeño porcentaje. Solamente en algunos casos, los niveles de divergencia en las secuencias intraespecíficas exceden del 3%-4% (Ferris y Berg 1987).

Existen muchas variantes de marcadores moleculares del ADN para la identificación de stocks de peces. Esto motiva la pregunta de ¿cual proporciona la estimación de proporciones de mezclas mas eficaz y exacta? Y, dentro de una clase de marcadores, ¿cual loci específico es más útil? (Kalinowski 2004).

El Impacto de la Pesca

El hombre tiene un gran impacto sobre el medio ambiente marino a través de la explotación de los recursos pesqueros. Las pesquerías pueden inducir diferentes presiones selectivas, ya sea directamente a través de una mortalidad elevada, la cual es a menudo altamente selectiva o a través de las respuestas a nivel del ecosistema, ya que la explotación afecta la disponibilidad de alimento y el riesgo de depredación tanto en las especies objetivo como en las no-objetivo (captura incidental). Las respuestas a la selección pueden observarse a dos niveles. Primero, al nivel de la comunidad algunas especies pueden sufrir mas los efectos de la pesca que otras; algunas pueden incluso incrementar su abundancia. Las respuestas de las especies a la explotación están asociadas con sus historias de vida. En particular, las especies con una maduración tardía a grandes tallas y con

baja tasa de crecimiento poblacional, tienden a sufrir declinaciones más pronunciadas que las especies que maduran pronto y tienen rápido crecimiento. Segundo, la composición fenotípica dentro de las especies también puede cambiar. Si la variabilidad fenotípica tiene una base genética, entonces la selección inducida por las pesquerías puede resultar en cambios evolutivos en los rasgos de la historia de vida, influenciando los rendimientos sostenibles, los rasgos de conducta (e.g. conductas para evitar el arte de pesca), y los rasgos morfológicos. (Heino y Godo 2002).

Todas las poblaciones de peces incluidas en una pesquería comercial o deportiva, serán inevitablemente cambiadas genéticamente por la captura. Si los procedimientos de cultivo producen un stock genéticamente indeseable, ese stock puede a menudo ser abandonado y un nuevo stock se traerá al criadero desde el medio natural. Sin embargo, las poblaciones naturales con cambios genéticos dañinos causados por la explotación, no pueden ser desechadas rápidamente. Tales cambios inducidos genéticamente pueden tomar muchas generaciones, de peces y gente, para corregirlos (Allendorf et al. 1987).

A pesar de su importancia, los efectos genéticos han sido muy ignorados en esta área por varias razones. Es difícil demostrar los cambios genéticos en las poblaciones naturales. Los cambios observados en las características importantes como la sobrevivencia, tasa de crecimiento y edad de madurez sexual, pueden ser causados por cambios tanto ambientales como genéticos. También es difícil pronosticar cuales cambios genéticos ocurrirán con diferentes regímenes de explotación. Para pronosticar los cambios genéticos, se debe conocer como están siendo capturados los peces con diferentes fenotipos y rasgos. (Allendorf et al. 1987).

La pesca probablemente es la mayor fuente de mortalidad en la mayoría de los stocks de peces explotados comercialmente. La gran mayoría (69%) de los stocks de peces marinos importantes o están totalmente explotados, sobrepescados, agotados o en recuperación (FAO 1999). Al mismo tiempo, muchas especies no-objetivo están influenciadas. La práctica de la pesca también puede causar daño físico al medioambiente. El gran impacto ejercido por las pesquerías modernas

sobre los ecosistemas marinos ha aumentado la preocupación acerca de la sustentabilidad, no solo desde el punto de vista tradicional de la pesquería de una sola especie, sino desde el de ecosistemas. Un riesgo extra para la sustentabilidad, que aún no ha sido considerado seriamente en el manejo de las pesquerías, es el cambio genético en los stocks individuales en respuesta a los efectos selectivos de la pesca (Heino y Godo 2002).

En principio, si la presión de pesca se relaja, la recuperación de la comunidad debería ser posible, siempre y cuando ninguna especie se haya pescado hasta la extinción y que la pesca no haya producido un daño irreversible al ambiente físico. El tiempo necesario para que un stock retorne a su abundancia natural, depende de hasta que grado fue agotado, así como en la proporción intrínseca de aumento de esa especie. Los stocks severamente agotados con bajas tasas de incremento, requerirán un mayor tiempo para recobrase. Al nivel de comunidad, el tiempo mínimo para la recuperación está determinado por las especies con el tiempo mas largo de recuperación (Heino y Godo 2002).

El Manejo Pesquero

Para un manejo más efectivo de las pesquerías, varios grupos de asesores han recomendado, que el enfoque sobre el ecosistema sea considerado de manera más amplia y consistente en el manejo de las pesquerías. El manejo de las pesquerías basado en el ecosistema (MPBE), es una nueva dirección que invierte el orden de las prioridades del manejo, iniciando con el ecosistema en lugar de las especies objetivo. El objetivo global del MPBE es mantener saludables los ecosistemas marinos y las pesquerías que ellos soportan. En particular, el MPBE debería (i) prevenir la degradación de los ecosistemas, (ii) minimizar el riesgo de cambios irreversibles de las uniones naturales de especies y procesos del ecosistema, (iii) obtener y mantener los beneficios socioeconómicos a largo plazo sin alterar el ecosistema y (iv) generar el suficiente conocimiento de los procesos del ecosistema para entender las probables consecuencias de las acciones humanas (Pikitch et al. 2004).

La explotación diferencial de peces dentro de una población es quizás el área del manejo pesquero en el cual las consideraciones genéticas son más importantes, debido a que los efectos potenciales son los más esparsivos (Allendorf et al. 1987). Para un manejo efectivo de estas pesquerías que explotan varios stocks o subpoblaciones, es esencial que cada uno de los stocks sea identificado y que se evalúe la magnitud de su contribución. Sin el beneficio de esta información, las agencias de pesquerías pueden basar sus regulaciones solamente en la presencia de los stocks numéricamente fuertes y no tener conciencia de que los stocks más débiles están siendo agotados; o ellos pueden enfocarse a proteger los stocks mas débiles, y que al final los mas fuertes sean subexplotadas (Pella y Milner 1987). El manejo de pesquerías de varios stocks es difícil debido a que la tasa de captura óptima de los stocks participantes es diferente y depende de la fuerza relativa de estos stocks. Si un stock es fuerte, este puede ser capturado a mayor intensidad (i. e. 80-90%) y aun dejar el suficiente numero de reproductores para perpetuar la población a un nivel sustentable; sin embargo, para un stock numéricamente agotado, el máximo de cosecha podría ser quizás de 10-20%. Cuando la pesca se dirige hacia una mezcla de stocks, ninguno puede ser explotado a un nivel óptimo; o los más débiles son sobrepescados o los más fuertes son subexplotados. El manejo apropiado requiere de información sobre la contribución relativa de los diferentes stocks a la captura total, que permita la toma de decisiones sobre cuando, donde y como pescar. Para lograr este objetivo, los diferentes stocks necesitan ser reconocidos. (Utter 1991).

La maximización del rendimiento sostenido fue un objetivo del manejo de pesquerías desde los años 50s. El objetivo del máximo rendimiento sostenido (MRS) cambió hace 30 años en varias áreas: Este puso a las poblaciones en mucho riesgo; no respondió a la variabilidad espacial en la productividad; no respondió a las otras especies además de las especies objetivo de la pesquería; consideró sólo los beneficios, no los costos de pesca, y era sensible a la presión política. De hecho, ninguna de estas críticas se dirigió a la sustentabilidad como una meta. Lo primero que uno notó al buscar el MRS absoluto con parámetros

inciertos, fue lo riesgoso. Además la meta del MRS no era holística y se omitieron muchos aspectos pertinentes (Botsford et al. 1997).

El manejo de las pesquerías actuales depende de la evaluación de los stocks para estimar los parámetros de la población de la especie objetivo, a partir de la estructura por tallas y edades de las capturas, del esfuerzo de pesca y de cruceros de investigación independientes de la pesquería. En el formato institucional más común para el manejo de las pesquerías, los científicos pesqueros formulan acciones potenciales de manejo basados en estas estimaciones, luego los proporcionan a los manejadores de las pesquerías, quienes ponderan sus consecuencias sociopolíticas para decidir cual implementar. Esta estructura conduce a los manejadores a incrementar constantemente la presión de la pesca. Los manejadores están bajo una constante presión política para que permitan una mayor captura, debido a los beneficios a corto plazo para la sociedad (trabajos y ganancias), y permiten incrementar la explotación cuando los científicos pesqueros no pueden especificar con certeza si el siguiente incremento conducirá a la sobrepesca o al colapso (Botsford et al. 1997).

Las propuestas para solucionar la carencia de sustentabilidad de las pesquerías, es que deben cambiar dos elementos que causan la sobrepesca: ya sea reduciendo la incertidumbre en el pronóstico de los efectos del manejo o reduciendo la presión sobre los manejadores para que incrementen la captura. Debido a las recientes fallas para sostener las capturas, las agencias de pesquerías han desarrollado un marco para prevenir la baja abundancia. Además del objetivo que les permite obtener la mayor captura, ellos ahora operan también con umbrales debajo de los cuales se toman acciones de emergencia para reconstruir las poblaciones. Por ejemplo en los Estados Unidos, casi 100 planes federales de manejo contienen una definición de sobrepesca y estipulan acciones para remediar una vez que la población es sobreexplotada. Un mayor holismo en el manejo de pesquerías puede alcanzarse considerando las interacciones de múltiples especies, las fuerzas físicas de gran escala y la respuesta del manejo a la presión sociopolítica por una mayor captura en condiciones de incertidumbre. (Botsford et al. 1997).

OPINIONES, CONSIDERACIONES Y DISCUSIONES

En la primera parte de este manuscrito sobre la importancia de la genética de poblaciones en el manejo de las pesquerías, se intenta evidenciar la gran preocupación que manifiestan muchos investigadores acerca del estado actual de los recursos pesqueros marinos, de la pérdida de biodiversidad y de la falta de efectividad de las medidas del manejo de pesquerías realizadas hasta la fecha.

Resulta claro, de las estadísticas reportadas por la FAO en los últimos 10 años, que la explotación mundial de los recursos marinos ha alcanzado su tope máximo en alrededor de 100 millones de toneladas anuales. Esta cantidad o tope, desde mi punto de vista no resulta tan preocupante, a pesar de que la población humana ha rebasado la cifra de 6,000 millones de personas, ya que si se pudieran repartir equitativamente estos recursos nos tocarían aproximadamente 17 Kg a cada uno, con lo cual una persona comería pescado o mariscos una vez al día, por más de dos meses. Si consideramos además que la pesca representa el 19% del consumo humano total de proteína animal; quiere decir entonces, que junto con el restante 81% de los recursos que nos proporcionan proteína animal, se podrían cubrir las necesidades diarias de alimento durante todo el año para toda la población mundial; claro, al menos en teoría.

Lo más preocupante como lo mencioné, no es la cifra tope de 100 millones de toneladas anuales, sino el estado actual de las pesquerías las cuales en un 50% se encuentran a su máximo de explotación y más del 22% de ellas están sobreexplotadas. Si a esto le sumamos la falta de efectividad de las medidas de manejo y que en muchas de las pesquerías ni siquiera cuentan con estas medidas o si las tienen no se cumplen, entonces el futuro inmediato sí es realmente preocupante, ya que lo más probable es que gran parte de las pesquerías que están explotándose al máximo, pasen a ser consideradas como sobreexplotadas y las que están moderadamente explotadas, sean explotadas al máximo.

La pérdida de biodiversidad es otro factor que está ocurriendo en sus tres niveles: la pérdida de diversidad genética, la extinción de algunas especies y el deterioro

de los ecosistemas, creo que es una preocupación mayor que se incrementa con el aumento de la población humana. Esto claramente afecta la pesca de las especies actualmente explotadas, pero también se ven afectadas las especies no-objetivo o captura incidental, que en la mayoría de los casos son regresadas al mar.

Es evidente pues, que debemos tomar en cuenta otros criterios más holísticos para el manejo de las pesquerías, como el manejo de pesquerías basado en el ecosistema (MPBE) y en las variaciones ambientales, estas dos perspectivas serán abordadas en las secciones siguientes.

La Estructura de la Población

A menudo se ha argumentado que la subdivisión de la población es una propiedad adaptativa de las especies. Si uno asume que las subdivisiones de una población han sido determinadas por selección natural, entonces esta estructura de la población es una característica adaptativa de la especie y probablemente su estabilidad y persistencia como especie, dependen del mantenimiento de esta estructura.

Al menos para mí, que he estado por mucho tiempo estudiando la dinámica poblacional de la sardina del Pacífico en forma casi exclusiva, me resultó sorprendente saber que una característica casi universal de las especies, es que sus poblaciones presentan una subestructura natural. Es normal que se presenten subpoblaciones con diferencias locales o regionales, sobretodo cuando el rango de distribución geográfica de una especie es muy amplio.

Esta subdivisión puede implicar que presente alguna diferencia genética, simplemente como resultado de la selección natural que favorece diferentes genotipos. O que estas diferencias sean solo fenotípicas como una respuesta a los ambientes diferentes en que viven.

En todo caso, tengan diferencias genotípicas o solo fenotípicas, lo más importante es que esta subestructura existe en la mayoría de las poblaciones explotadas y que debe identificarse, ya que es uno de los aspectos más relevantes y de una aplicación práctica en el manejo de las pesquerías. Una vez que se comprueba la

existencia de subunidades en la población, entonces lo lógico es que se deban formular medidas de regulación para cada una de ellas. Con esto podemos prevenir la sobreexplotación de las subunidades más débiles, además de tratar de obtener un óptimo aprovechamiento de la especie o recurso pesquero en cuestión.

El Concepto de Stock

De acuerdo con Booke (1981) el término "stock" se ha usado para definir las unidades dentro de una especie, las cuales pueden ser una raza, una población, o una subpoblación.

Es evidente que existen muchas definiciones de "stock", casi tantas como los autores que han escrito sobre este tema. En algunos casos, la connotación que algunos autores le han dado al término "stock", se acerca más al concepto de población. Tal es el caso de John Marr en 1957, quien explícitamente señala que un stock es una población que actualmente está siendo pescada y manejada. Más aun si tomamos en cuenta lo mencionado por Hedgecock (1984), para quien un stock de peces puede comprender más de una subpoblación. En estos casos, parece obvio que el término de stock lo están usando como sinónimo de población.

Pero yo considero que sería más apropiado y práctico si el concepto de stock fuera equivalente al de subpoblación, porque las capturas se toman de las subunidades que conforman naturalmente a una población; y como lo señaló MacCall (1984), el stock es simplemente aquella entidad desde donde se toman las capturas. Esto lo menciono, no solo con la intención de buscar un sinónimo mas apropiado y entendible de la palabra stock, sino porque finalmente el manejo de las pesquerías requiere de la identificación de la subunidades de la población que esta siendo explotada. Desde mi punto de vista un stock puede ser equivalente a una subdivisión de la población, o sea, a una subpoblación.

Otra opinión muy parecida es la de Saila y Martin (1985) quienes señalaron que en términos generales, una unidad de stock es un grupo de organismos que pueden tratarse independientemente, porque cada uno puede responder singularmente a la explotación o a las variaciones ambientales. Esto creo que facilita el

entendimiento del concepto de stock y su uso en forma directa para los objetivos del manejo de pesquerías y la conservación de los recursos.

Finalmente, estoy de acuerdo (y creo que todos) con lo que mencionaron Spangler et al. (1981), de que no es necesario estar de acuerdo (valga la redundancia) en una única definición de stock para comunicar efectivamente el concepto para propósitos del manejo de pesquerías. Los principales aspectos del concepto de stock deben incluir la segregación temporal y espacial así como un cierto aislamiento reproductivo. Generalmente se reconoce que para propósitos de manejo, una unidad de stock no necesariamente corresponde a un grupo genéticamente distinto, ya que las características fenotípicas a menudo son usadas para la identificación de los stocks.

Stock Genotípico y Stock Fenotípico

Usualmente las diferencias en las frecuencias alélicas de los individuos que tomamos como muestra, son evidencia confiable para establecer diferencias genéticas entre los stocks, pero la ausencia de estas diferencias, no es en si misma, evidencia positiva de que las muestras provengan de una población panmítica.

Si no podemos identificar o diferenciar genéticamente las subestructura de una población, entonces debemos usar las características fenotípicas (merísticas y morfométricas) de los individuos para identificar ello. Pero hay especies que presentan una homogeneidad tanto genotípica como fenotípica, y se tienen problemas para determinar si esa población en particular presenta la subestructura que al parecer es un rasgo característico de la mayoría de las especies. Entonces los investigadores usan marcadores químicos que pueden estar presentes en alguna de las partes del cuerpo, con los cuales es posible determinar el lugar de procedencia de los individuos o incluso su lugar de nacimiento y esto puede usarse como indicador de la existencia de stocks.

Estas marcas o sustancias químicas pueden encontrarse por ejemplo en los otolitos (Thorrold et al. 2001). También puede haber ácidos grasos con los cuales se pueden caracterizar los diferentes grupos de peces (Luch-Cota informe SIMAC

2005). O los peces pueden mostrar preferencias por determinadas rangos de temperatura a los cuales eventualmente se adaptan (Félix-Uraga et al. 2004). Para estos casos no se están considerando las características genéticas para identificar los stocks. Tampoco se están considerando las características fenotípicas, ya que estrictamente hablando no se está usando la información merística ni morfométrica de los individuos para la identificación de los grupos.

Por estas razones yo considero que pudiera ser apropiado proponer otras categorías de stocks, como stock químico o stock ambiental. O bien abrir una subclasificación dentro del concepto de stock fenotípico actual, para darle cabida clara a estas posibilidades. Porque finalmente es el método que usemos para definir el stock, el que le está dando nombre al mismo.

Pero no debemos de perder de vista que lo verdaderamente importante en todo esto, es la identificación de la estructura intrapoblacional porque de ello dependerá que se mejoren los resultados del manejo de pesquerías y que en consecuencia tengamos recursos pesqueros mas saludables en el sentido ecológico.

Métodos de Identificación de Stocks

De lo expuesto en este mismo capítulo en la primera parte de este manuscrito, solo me surgen comentarios de admiración de todos los avances logrados a la fecha, principalmente con el esfuerzo de todos los investigadores que han tenido participación directa e indirecta en las investigaciones o en el desarrollo de técnicas y aparatos que han sido determinantes para estos logros.

Desde los estudios de Mendel en 1866, quien identificó las unidades de la herencia a las que posteriormente se les llamó "genes", hasta el descubrimiento de la estructura de la molécula de ADN, por Watson y Crick en 1953, evento que sirvió para identificar los genes Mendelianos y para clarificar la relación directa entre los genes y las proteínas. Con esto se desarrolló la electroforesis que permitió una rápida y confiable identificación de las variaciones de proteínas que reflejan las diferencias genéticas simples entre los individuos y por consiguiente entre los stocks. Actualmente se han desarrollado más de una decena de técnicas de genética molecular, todas ellas complicadas, al menos para mí, que han

permitido una caracterización más segura y precisa de la estructura de las poblaciones de peces.

Paralelo al desarrollo de estas técnicas genéticas, han ocurrido grandes avances en el desarrollo de técnicas para analizar los caracteres merísticos y morfométricos de los individuos, las cuales también han dado muy buenos resultados en la identificación de los diferentes grupos de peces. Donde las mediciones del largo y ancho de los peces que se usaban en un principio, se han convertido ahora en el “truss network” el cual implica múltiples mediciones que forman un patrón entrelazado que cubren todo el cuerpo de los individuos que se analizan. Esta técnica puede aplicarse también a partes del cuerpo como los otolitos, a los que además se les puede analizar la forma o contorno. Posteriormente, con técnicas de estadística multivariada, que actualmente tienen mucho uso por las facilidades de cálculo que permiten las computadoras, se pueden establecer las diferencias de los diferentes grupos de peces.

Estos avances metodológicos están basados en los avances tecnológicos logrados en muchos instrumentos de precisión y de análisis de información, como las cámaras digitales para capturar imágenes, computadoras y programas de cómputo para mediciones y conteos automatizados, entre otros. Aun con esto, algunas veces se siguen teniendo problemas para la identificación segura y confiable de algunos stocks, los cuales pueden derivarse de la misma complejidad del problema que representa el estudio de las poblaciones explotadas de peces.

El Impacto de la Pesca

La pesca es la mayor fuente de mortalidad en la mayoría de las especies explotadas comercialmente; sus efectos son diversos, pero el más obvio y directo es que aumenta la mortalidad en la especie, por lo menos durante alguna etapa de la vida. La pesca remueve individuos tanto de las especies objetivo como de las no-objetivo y es selectiva con respecto a la talla, conducta y hábitat de los peces. Esto provoca cambios en los rasgos que determinan el rendimiento, como la talla a la edad y la talla y edad de maduración. Si algunos rasgos fenotípicos

intraespecíficos se deben a diferencias genéticas de los individuos, entonces la pesca causará cambios evolutivos.

Los manejadores de pesquerías deben estar alertas a los cambios evolutivos causados por la pesca, ya que estos cambios son difíciles de revertir y si se controlan apropiadamente podrían generar una ganancia evolutiva en el rendimiento.

Al nivel de las comunidades, las abundancias relativas de las especies pueden cambiar. La pesca modifica la estructura de tallas, la diversidad, la estructura trófica y la composición por especies de las comunidades de peces. Las especies objetivo se espera que disminuyan más que las especies no-objetivo.

Los peces grandes, de maduración tardía y baja tasa de crecimiento poblacional, son más propensos a disminuir su abundancia por la pesca, que las poblaciones de especies pequeñas, de maduración temprana y alta tasa de crecimiento poblacional. Los peces que presentan una maduración temprana tienen una mejor oportunidad de reproducirse antes de volverse vulnerables a la pesca, además de contar con una alta tasa de crecimiento poblacional que les permite resistir una alta mortalidad por pesca. En cambio las especies con baja tasa de crecimiento pueden llevarse cerca de la extinción, incluso con una mortalidad por pesca baja.

La carencia de conocimientos acerca de la conducta y ecología de las especies explotadas, ha impedido entender la forma en que la explotación influye en la resistencia de los peces a las disminuciones catastróficas y su resiliencia después de esto. La dinámica de la comunidad puede tener múltiples estados estables.

El Manejo Pesquero

Aunque los objetivos del manejo de pesquerías basado en el ecosistema me parecen muy apropiados; o sea prevenir la degradación de los ecosistemas, minimizar el riesgo de los cambios irreversibles en los procesos del ecosistema, obtener y mantener los beneficios económicos a largo plazo sin alterar el ecosistema y finalmente generar el conocimiento sobre los procesos del ecosistema para enfrentar las posibles consecuencias de las acciones humanas, no dejo de pensar en lo extremadamente difícil que es ponerlos en práctica.

Esto lo menciono porque creo que solamente en los países desarrollados existen planes de manejo, planteados formalmente con bases científicas y que finalmente se aplican a las diferentes pesquerías que tienen en sus costas, con personal que se encarga de vigilar que se cumplan con las medidas establecidas para el manejo.

En los países subdesarrollados existen planes de manejo, solamente para los principales recursos pesqueros, planteados en algunos casos con bases científicas, pero en la mayoría de los casos las medidas de manejo no se aplican cabalmente o solo se aplican parcialmente, o de plano no se aplican y no hay una vigilancia efectiva para el cumplimiento de las medidas de manejo.

Creo que es muy evidente, que todavía existen muchos recursos a nivel mundial que no cuentan con ningún plan de manejo. Si a esto le agregamos, que aun en los países desarrollados donde si existen los planes de manejo, se tienen problemas muy serios para lograr su sustentabilidad, entonces el futuro de los recursos pesqueros no es muy promisorio.

Por esto debemos tomar en cuenta todas las acciones que beneficien la sustentabilidad de los recursos pesqueros. Si no se cuentan con planes de manejo o si se tienen dudas de las evaluaciones de abundancia, el manejo precautorio debe implementarse siempre. Es muy importante también tomar en cuenta que muchos recursos pesqueros están muy influenciados por las variaciones del ambiente, sobre todo los peces pelágicos menores que son los mas importantes a nivel mundial por los grandes volúmenes de capturas representan.

El manejo adaptativo, el manejo basado en el ecosistema, las zonas restringidas a la pesca, las cuotas de captura, los umbrales bajo los cuales no se permita la pesca, las tallas mínimas de captura, las moratorias; en fin, aquellas medidas que puedan en un momento ser validas y aplicables de manera razonada para lograr la sustentabilidad sin el deterioro de los ecosistemas, es necesario que se consideren como plan de manejo y mas necesario aun, es que se cumplan las disposiciones para lograr estos fines. Se ve bonito en el papel, pero en la practica es muy difícil de aplicar. Pero como alguien ya se pronunció, “seamos realistas, pidamos lo imposible”.

LITERATURA CITADA

- Allendorf, F. W., N. Ryman y F. M. Utter. 1987. Genetics and fishery management: past, present, and future. *En Population Genetics & Fishery Management*, N. Ryman and F. Utter ed. Seattle and London: Univ. of Wash. Press. Pp. 1-19.
- Booke, H. E. 1981. The Conundrum of the stock concept – are nature and nurture definable in fishery science? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:1479-1506.
- Botsford, L. W., J. C. Castilla y C. H. Peterson. 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*. 277: 509-514.
- Campana, S. E. y J. M. Casselman. 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 1062-1083.
- Chakraborty, R. y O. Leimar. 1987. Genetic variation within a subdivided population. *En Population Genetics & Fishery Management*, N. Ryman and F. Utter ed. Seattle and London: Univ. of Wash. Press. Pp. 89-120.
- Ferris, S. D. y W. J. Berg. 1987. The utility of mitochondrial DNA in fish genetics and fishery management. *En Population Genetics & Fishery Management*, N. Ryman and F. Utter ed. Seattle and London: Univ. of Wash. Press. Pp. 277-299.
- Hartl, D. L. y A. G. Clark. 1997. Principles of population genetics. 3d ed. Massachusetts. Sinauer Associates, Inc. ?? p.
- Hedgecock, D. 1984. Introduction. *En Identifying fish subpopulations. Proceedings of a California Sea Grant Workshop. Report No. T-CSGCP-013.* Pp 3-5.
- Heino, M. y O. R. Godo. 2002. Fisheries-induced selection pressures in the context of sustainable fisheries. International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria. Interim Report. IP-02-022. 20 p.
- Ihssen, P. E., D. O. Evans, W. J. Christie, J. A. Reckahn y R. L. DesJardine. 1981. Allelic variability in species and stocks of Lake superior ciscoes (Coregoninae). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1790-1807.
- Kalinowski, S. T. 2004. Genetic Polymorphism and mixed-stock fisheries analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61: 1075-1082.
- Kimura, M. y G. H. Weiss. 1964. The stepping stone model of population structure and the decrease of genetic correlation with distance. *Genetics*. 49: 561-576.
- MacCall, A. 1984. Review of the biological rationale for identifying subpopulations in fisheries. *En Identifying fish subpopulations. Proceedings of a California Sea Grant Workshop. Report No. T-CSGCP-013.* Pp. 9-13.

- Pella, J. J. y G. B. Milner. 1987. Use of genetic marks in stock composition analysis. *En Population Genetics & Fishery Management*, N. Ryman and F. Utter ed. Seattle and London: Univ. of Wash. Press. Pp. 247-276.
- Pikitch, E. K., C. Santora, E. A. Babcock, A. Bakun, R. Bonfil, D.O. Conover, P. Dayton, P. Doukakis, D. Fluharty, B. Heneman, E. D. Houde, J. Link, P. A. Livingston, M. Mangel, M. K. McAllister, J. Pope y K. J. Sainsbury. 2004. Ecosystem-based fishery management. *Science*. 305: 346-347.
- Rowe, S. y J. A. Hutchings. 2003. Mating systems and the conservation of commercially exploited marine fish. *Trends in Ecology and Evolution*. 18 (11): 567-572.
- Ryman, N. y F. Utter. 1987. *Population genetics & Fishery management*. Seattle and London: Univ. of Wash. Press. 420 p.
- Saila, S. B. y B. K. Martin. 1985. A brief review and guide to some multivariate methods for stock identification. *Proceedings of the stock identification workshop*. Panama City, Florida. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-199: 149-173.
- Smith, P. J. 1996. La diversidad genética de los recursos pesqueros marinos: posibles repercusiones en la pesca. *FAO. Documento Técnico de Pesca 344*: 24 p.
- Spangler, G. R., A. H. Berst y J. F. Koonce. 1981. Perspectives and policy recommendations on the relevance of the stock concept to fishery management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:1908-1914.
- Thorpe, J. E., J. F. Koonce, D. Borgeson, B. Henderson, A. Lamsa, P.S. Maitland, M. A. Ross, R. C. Simon y C. Walters. 1981. Assessing and managing man's impact on fish genetic resources. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1899-1907.
- Utter, F. 1984. Validity of electrophoresis in identifying fish population structures. *En Identifying fish subpopulations. Proceedings of a California Sea Grant Workshop*. Report No. T-CSGCP-013. Pp. 14-17.
- Utter, F. 1985. Protein electrophoresis and stock identification in fishes. *Proceedings of the stock identification workshop*. Panama City, Florida. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-199: 63-104.
- Utter, F. 1991. Biochemical genetics and fishery management: an historical perspective. *Journal of Fish Biology*. 39: 1-20.
- Utter, F., P. Aebersold y G. Winans. 1987. Interpretating genetic variation detected by electrophoresis. *En Population Genetics & Fishery Management*, N. Ryman and F. Utter ed. Seattle and London: Univ. of Wash. Press. Pp. 21-45.

Winans, G. A. 1985. Using morphometric and meristic characters for identifying stocks of fish. Proceedings of the stock identification workshop. Panama City, Florida. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-199: 25-62.