



<b>CAPITULO 4: DATOS</b>	<b>AUTOR: CEFAS</b>	<b>ACTUALIZADO: 24 En 2006</b>
--------------------------	---------------------	--------------------------------

**MANUAL DE OPERACIONES ICCAT:  
Capítulo 4. Datos para Evaluación e Investigación**

Graham M. Pilling, A. John R. Cotter, Julian D. Metcalfe  
CEFAS, Lowestoft, U.K.

<b>4.1 Introducción y estadísticas básicas .....</b>	<b>3</b>
4.1.1 Biostatísticas.....	3
4.1.2 Bibliografía.....	5
<b>4.2 Muestreo de capturas, esfuerzo, CPUE y talla .....</b>	<b>6</b>
4.2.1 Nociones básicas del muestreo.....	8
4.2.2 Sistemas de muestreo .....	12
4.2.3 Estimando la precisión .....	14
4.2.4 Fuentes de información .....	15
4.2.5 Problemas potenciales en las estadísticas de captura total anual.....	25
4.2.6 Estimación y extrapolación .....	27
4.2.7 Bibliografía.....	29
<b>4.3 Estimación de la captura por edad .....</b>	<b>32</b>
4.3.1 Muestreo para obtener datos de frecuencias de talla .....	32
4.3.2 Equipo para efectuar las mediciones .....	34
4.3.3 Medidas que deben tomarse .....	35
4.3.4 Proceso de datos .....	38
4.3.5 Edad o aplicación del método “filo de cuchillo” a una cohorte.....	41
4.3.6 Claves talla-edad (ALKs) .....	41
4.3.7 Schnute y Fournier .....	43
4.3.8 MULTIFAN .....	43
4.3.9 Funcionamiento de los métodos .....	44
4.3.10 Bibliografía.....	44
<b>4.4 CPUE y LPUE como índices de abundancia relativa.....</b>	<b>45</b>
4.4.1 Cuestiones específicas de ICCAT .....	47
4.4.2 Bibliografía.....	47
<b>4.5 Muestreo genético .....</b>	<b>49</b>
4.5.1 Objetivos del muestreo genético.....	49
4.5.2 Objetivos de las muestras.....	49
4.5.3 Tamaño de la muestra.....	49
4.5.4 Procedimientos de muestreo .....	50
4.5.5 Analisis de muestras .....	50
4.5.6 Analisis de los resultados .....	51
4.5.7 Bibliografía.....	51
<b>4.6 Marcado .....</b>	<b>53</b>
4.6.1 Experimentos de marcado en la evaluación y ordenación de stocks de túnidos en el área de ICCAT .....	53
4.6.2 Programas de marcado.....	54
4.6.3 Experimentos de marcado ¿dirigidos o bien oportunistas? .....	54
4.6.4 Recuperación de marcas, publicidad y recompensas.....	54
4.6.5 Métodos de captura de peces .....	56
4.6.6 Manipulación del pescado .....	57
4.6.7 Marcas convencionales.....	61
4.6.8 Procedimientos de marcado.....	64
4.6.9. Bibliografía.....	67

<b>4.7 Mercado con marcas electrónicas.....</b>	<b>70</b>
4.7.1 Marcas acústicas.....	70
4.7.2 Marcas archivo.....	70
4.7.3 Marcas archivo implantables.....	70
4.7.4 Marcas archivo pop-up por satélite colocadas externamente.....	71
4.7.5 Métodos de colocación de marcas electrónicas.....	71
4.7.6 Periodo posterior al marcado y liberación de los peces.....	72
4.7.7 Bibliografía.....	73
<b>4.8 Muestreo relacionado con la madurez.....</b>	<b>76</b>
4.8.1 Muestreo relacionado con el sexo y la madurez.....	76
4.8.2 Etapas de la madurez.....	77
4.8.3 Muestreo histológico y análisis.....	77
4.8.4 Métodos químicos.....	80
4.8.5 Estimación de características relacionadas con la madurez.....	80
4.8.6 Bibliografía.....	82
<b>4.9 Partes duras.....</b>	<b>83</b>
4.9.1 Validación.....	83
4.9.2 Muestreo de partes duras.....	83
4.9.3 Formas de preparar las partes duras para su lectura.....	88
4.9.4 Lectura.....	88
4.9.5 Estimación del parámetro de crecimiento.....	89
4.9.6 Claves talla-edad (ALK).....	89
4.9.7 Análisis de microelementos.....	89
4.9.8 Bibliografía.....	90
<b>4.10 Información de observadores y otras muestras biológicas.....</b>	<b>92</b>
4.10.1 Cobertura por observadores.....	92
4.10.2 Examen de las prácticas pesqueras.....	93
4.10.3 Información biológica.....	94
4.10.4 Descartes y estimación del descarte.....	94
4.10.5 Bibliografía.....	95

**ANEXO 1.** Ejemplo de cuaderno de pesca y formularios de observadores (incompleto)

## 4.1. Introducción y estadísticas básicas

El presente capítulo está diseñado para facilitar una visión global de los requisitos, en lo que a datos se refiere, de las evaluaciones y la investigación en el marco de ICCAT.

A este fin facilita al lector una interpretación básica de cómo diseñar programas de recopilación de datos, por medio del muestreo de las capturas de los barcos y de cómo asegurarse de que dichos datos representan a toda la población (véase el apartado 4.2). Este tema se repite a lo largo de este capítulo, pero los lectores deberán dirigirse inicialmente a este apartado. Un tipo de datos obtenidos de forma rutinaria son los datos de talla. La recopilación de estos datos y su empleo para estimar la estructura por edad de las capturas se detalla en el apartado 4.3. Otra fuente de información sobre la situación del stock que se aplica en las evaluaciones es la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) que normalmente se obtiene a partir de los cuadernos de pesca de los barcos. Estos datos han de estar estandarizados en el tiempo, entre zonas, así como entre las diferentes categorías de buques o artes de pesca, con el fin de asegurar que las señales contenidas en los datos sean coherentes. Las cuestiones relacionadas con el uso de los datos de CPUE se detallan en el apartado 4.4.

En la ordenación de los stocks es de gran importancia un cierto número de atributos biológicos. Estos incluyen la escala geográfica y los límites de distribución del stock, su interacción con substocks y las pautas migratorias. Existen técnicas para examinar estos factores, incluyendo métodos genéticos (apartado 4.5) y el marcado (apartados 4.6 y 4.7). En el caso de stocks concretos, el conocimiento de las pautas de reproducción de los grandes pelágicos, así como las características del crecimiento y mortalidad, definirá ampliamente la capacidad de regeneración de la población. Por ello, son de una importancia extrema para la ordenación y conservación y para el diseño de modelos fiables destinados a una evaluación eficaz del stock. Los métodos para investigar estos atributos biológicos se detallan en los apartados 4.8 y 4.9. Conviene señalar que la mayor parte de estos métodos requieren un examen exhaustivo del pez. Debido al alto precio de la mayor parte de las especies de túnidos, por lo general los datos de talla constituyen la única información que se puede obtener que no implique comprar los ejemplares o iniciar un programa de investigación independiente de la pesquería.

Los programas científicos de observadores son la clave para obtener información sobre una amplia gama de características relacionadas con la pesquería, incluyendo pautas de búsqueda, caracterización del esfuerzo de pesca, captura secundaria y mortalidad por descarte, además de la recogida de información biológica exacta. En el apartado 4.10 se tratan métodos básicos para obtener una cobertura óptima en los programas de observadores, la clase de información que se puede obtener y la importancia de estimar la captura secundaria partiendo de los datos de observadores.

### 4.1.1 Bioestadísticas

Este manual contiene muchos detalles sobre los métodos estadísticos aplicados en las zonas de interés. A fin de facilitar la comprensión, este apartado presenta un sencillo y breve recordatorio de los conceptos estadísticos básicos. Para más información se invita a los lectores a que consulten otros textos sobre bioestadística, como por ejemplo “Biometría” de Sokal y Rohlf (1995) que presenta tanto la teoría que apoya los métodos como ejemplos útiles de su empleo con datos, “Técnicas de muestreo” de Cochran (1977) y “Muestreo” de Thompson (1992). Sparre y Venema (1998) tienen también un excelente manual para la evaluación de stock de peces tropicales, que constituye la principal fuente de este apartado.

#### *Valor medio y varianza*

Se toma una muestra  $n$  de peces de una sola especie, todos capturados en un mismo lance, siendo  $x(i)$  la talla del pez no.  $i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ . La talla media de la muestra se define como:

$$\bar{x} = \frac{[x_{(1)} + x_{(2)} + \dots + x_{(n)}]}{n} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_{(i)}$$

Por ejemplo, si se muestrearon 12 peces de tallas (cm) 176, 175, 162, 174, 161, 156, 178, 158, 195, 171, 177 y 154, la talla media de esta muestra sería:

$$\bar{x} = \frac{[176 + 175 + \dots + 154]}{12} = \frac{1}{12} * 2037 = 169.75$$

La varianza de la muestra, una medida de la variabilidad en torno al valor medio se define como:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} * \left[ (x_{(1)} - \bar{x})^2 + (x_{(2)} - \bar{x})^2 + \dots + (x_{(n)} - \bar{x})^2 \right] = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n [x_{(i)} - \bar{x}]^2$$

Normalmente esto se calcula como  $\sum x^2 - (\sum x)^2/n/(n-1)$  para evitar errores de redondeo.

La varianza es por tanto la suma de los cuadrados de las desviaciones de la media divididas por el número (n) menos uno. Si todos los peces en la misma muestra tuviesen la misma talla, entonces la varianza sería cero. Así, respecto a la muestra de tallas arriba enumeradas, la varianza sería:

$$s^2 = \frac{1}{12-1} * \left[ (176 - 169.75)^2 + (175 - 169.75)^2 + \dots + (154 - 169.75)^2 \right] = \frac{1}{12-1} * 1556.25 = 141.48$$

La raíz cuadrada de la varianza, s, es la desviación estándar. En el ejemplo, s=11.89. La varianza se puede también expresar relativa a la talla media, como el coeficiente de variación. En este caso, la desviación estándar es importante ya que tiene la misma unidad que la media. El coeficiente de variación es:

$$\frac{s}{\bar{x}}$$

En el ejemplo, el coeficiente de variación (CV) es:

$$\frac{11.89}{169.75} = 0.07$$

En gran parte, la estadística se basa en la “normalidad” de los datos. Esto, en esencia, quiere decir que los datos (así como la población de donde proceden) se ajustan a una distribución normal:

$$Fc(x) = \frac{n * dL}{s * \sqrt{2\pi}} * \exp \left[ - \frac{(x - \bar{x})^2}{2s^2} \right]$$

donde Fc(x) es la 'frecuencia calculada', n es el número de observaciones, dL es el tamaño del intervalo (de la medida en cuestión), s=desviación estándar,  $\bar{x}$  la talla media y  $\pi=3.14159\dots$

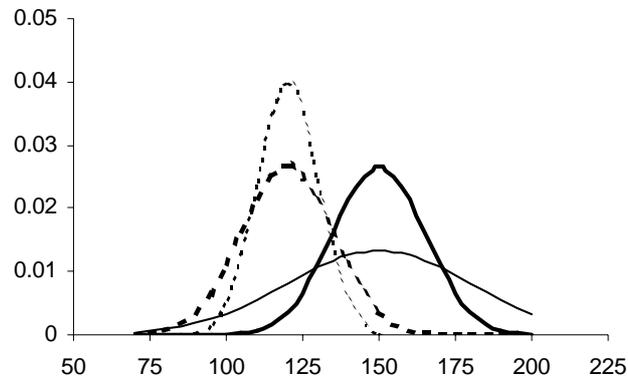
Con frecuencia se observa una distribución normal en el caso de peces de más edad, más grandes (los jóvenes, más pequeños precisarían de algunos valores negativos para tener una distribución normal) cuando se registran frecuencias de tallas de peces de una misma cohorte (es decir, peces de la misma edad) y por lo tanto se puede estimar la probabilidad de que haya en la muestra algún pez superior o inferior a una talla dada. La probabilidad de otras distribuciones existe (por ejemplo, distribución logarítmica normal) cuando la distribución de las mediciones es asimétrica en lugar de estar centrada en torno a la media como en la distribución normal.

Los conceptos de sesgo y precisión surgen de la consideración de medias y distribuciones (**Figura 4.1.1**). Una estimación de una muestra se considera insesgada si la media de muchas estimaciones repetidas es igual al valor auténtico (esto se conseguiría muestreando todos los ejemplares en el total de la población). Una estimación está sesgada si se desvía del valor auténtico de forma sistemática. Por ejemplo, si las estimaciones de la talla media en la muestra fuesen siempre superiores a la talla auténtica en la población. Esto podría producirse debido a la selectividad del arte. En una muestra insesgada, se puede conseguir un mayor acercamiento al valor auténtico aumentando el tamaño de la muestra. Esto se considera “consistencia”. En una estimación sesgada, siempre existirá una diferencia entre los valores auténticos y los estimados.

Para obtener una estimación insesgada, la muestra debería ser aleatoria. Esto significa que cualquier pez del stock (por ejemplo) debería tener exactamente la misma probabilidad de ser muestreado. Sin embargo, con frecuencia resulta difícil en la práctica obtener una auténtica muestra aleatoria.

La precisión es la medida para saber si las muestras o las estimaciones son “precisas”. En este caso, la varianza en torno al valor medio de la muestra o estimación es baja (**Figura 4.1.1**). Esto no significa necesariamente que

la muestra o la estimación no contienen sesgo – pueden ser precisas (agrupadas muy cerca de un valor dado) pero sesgadas (por ejemplo, dicho valor dado no es igual a la media auténtica).



**Figura 4.1.1.** Demostración de sesgo y precisión. La distribución normal señalada por el trazo negro sólido representa la distribución de la población. El trazo sólido más estrecho representa una distribución insesgada pero menos precisa (la media es igual a la población pero está más ampliamente distribuida). La distribución señalada por el trazo grueso discontinuo representa una muestra sesgada – la distribución tiene una varianza idéntica a la población auténtica pero el valor medio es inferior al auténtico. La distribución señalada por el trazo fino discontinuo, contiene sesgo pero es más precisa.

#### 4.1.2 Bibliografía

COCHRAN, W.G. (1977). Sampling techniques. New York, J. Wiley & Sons, Inc.

SOKAL, R.R. and F.J. Rohlf (1995). Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. W.H. Freeman and Company, New York.

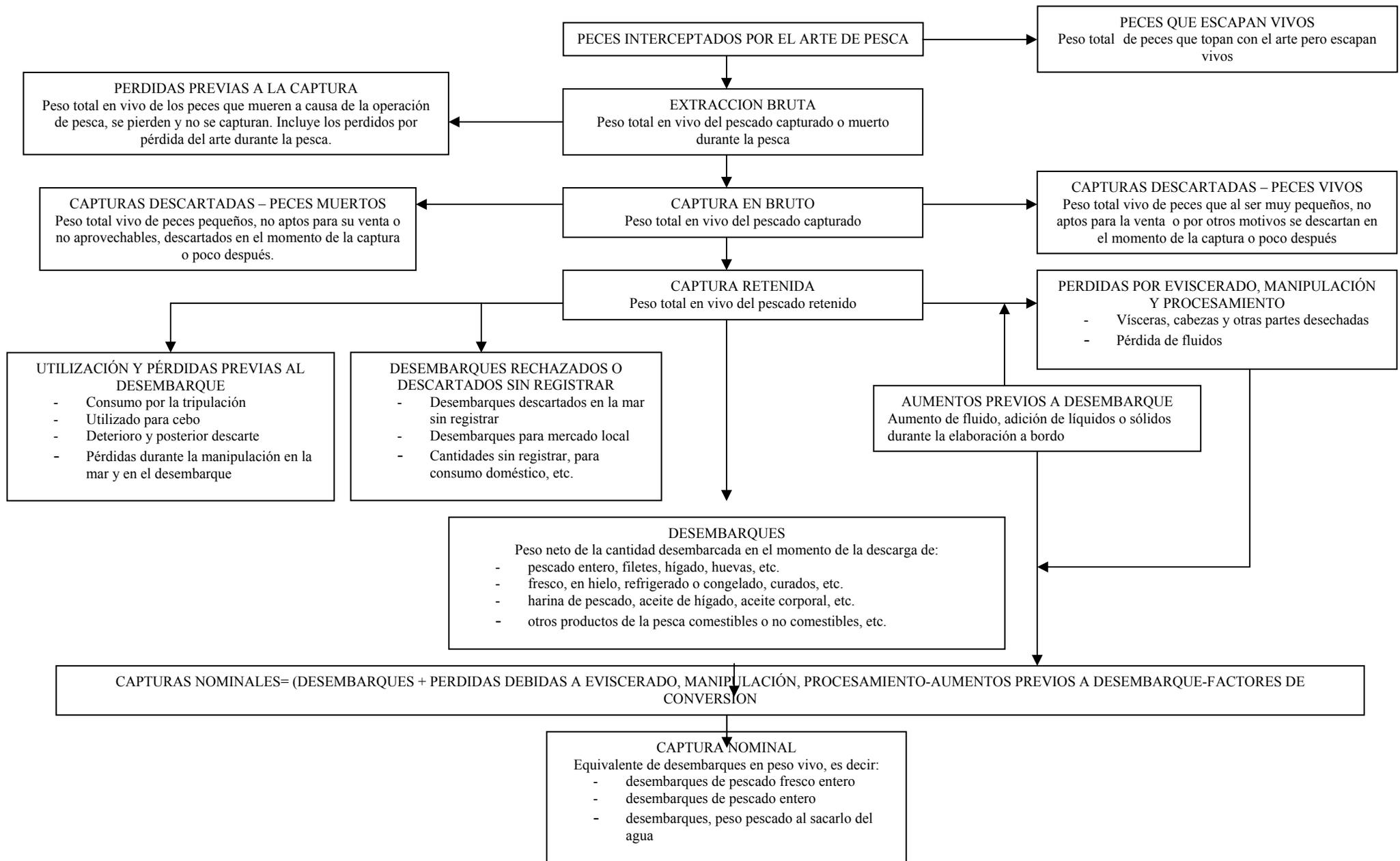
SPARRE, P. and S.C. Venema (1998). Introduction to fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fish. Tech. Pap. 306 (1), FAO, Rome.

THOMPSON, S. K. (1992). Sampling. John Wiley & Sons, Inc. 343p.

## 4.2 Muestreo de capturas, esfuerzo, CPUE y talla

En principio, hay dos métodos de recopilación de datos: enumeración completa y muestreo. Una encuesta marco o censo de pesquería se lleva a cabo por lo general por medio de una enumeración completa. Para estimar el total de captura anual, el ideal sería una enumeración completa. Sin embargo, este método sobrepasa en general el presupuesto de la mayor parte de los centros de investigación sobre pesquerías. Por ello, se requiere un sistema adecuado de muestreo para obtener datos representativos que puedan ser extrapolados a toda la pesquería. La **Figura 4.2.1** es un diagrama de los procesos que pueden presentarse al evaluar los niveles de captura destinados a la información de la Tarea 1.

Este apartado presenta una breve consideración de los aspectos estadístico y práctico relacionados con el muestreo de las pesquerías de túnidos y peces, de diversas formas, con el fin de estimar estadísticas resumidas del total de desembarques, esfuerzo de pesca, talla y otras características biológicas de los peces. El apartado 4.2.1 es una guía de la teoría básica del muestreo en el contexto de las pesquerías de túnidos. El apartado 4.2.2 describe y comenta sistemas comunes de muestreo estadístico y el apartado 4.2.3 trata sobre la precisión del muestreo. El apartado 4.2.4 contiene aspectos más prácticos. Hace un resumen de las principales fuentes de información sobre stocks y pesquerías de túnidos, señalando sus ventajas y defectos y sugiere formas prácticas de llevar a cabo el muestreo y realizar estimaciones a la luz del debate sobre estadísticas previo. El apartado 4.2.5 presenta los problemas potenciales de las estadísticas de captura anual y sus posibles soluciones. Finalmente, el apartado 4.2.6 considera la extrapolación de las estimaciones del muestreo a toda una flota de pesca o un stock de peces dentro de un estrato espacio-temporal ICCAT, por ejemplo  $5^{\circ} \times 5^{\circ} \times \text{mes}$ ,  $1^{\circ} \times 1^{\circ} \times \text{mes}$ .



**Figura 4.2.1.** Representación en diagrama de los conceptos aplicados en la estimación de la captura nominal

### 4.2.1 Nociones básicas del muestreo

#### Muestreo científico

El muestreo es esencial cuando deseamos describir o hacer inferencias acerca de una población que es demasiado grande para permitir la observación de cada uno de sus miembros. El muestreo científico exige que exista una relación entre la población y la muestra. Dos principios a considerar son (Thompson, 1992):

- Diseño básico de muestreo, en el cual la relación consiste en una regla probabilista para seleccionar individuos con vistas a su observación, por ejemplo, simple muestreo aleatorio.
- Muestreo basado en un modelo en el cual la población tiene una estructura hipotética basada en un modelo matemático cuyos parámetros se estiman a partir de los individuos observados; el modelo incluye errores aleatorios,  $e$ ; por ejemplo,  $Edad = f(Talla) + e$ .

El diseño de muestreo permite estimar estadísticas descriptivas, tales como media, varianza y distribuciones de frecuencia, sin supuestos sobre la población. Estas estadísticas están *diseñadas sin sesgo*, es decir, se confía en que estén en torno al valor auténtico que se obtendría con muestreo repetido en virtud del diseño de muestreo probabilista. El muestreo basado en un modelo, por otra parte, permite ajustar el modelo sin supuestos sobre el muestreo. Los parámetros estimados son *insesgados según el modelo*, es decir, no tienen sesgo si el modelo es cierto y completo.

En la práctica, ambas teorías requieren compromisos, ya que el muestreo probabilístico pocas veces resulta el ideal y nunca se confía plenamente en un modelo (Burnham y Anderson, 2002). Sin embargo, una muestra aleatoria suele ser adecuada para ajustar un modelo, mientras que una muestra tomada para obtener un ajuste óptimo de un modelo resultará posiblemente sesgada e ineficaz para estimar estadísticas descriptivas. Además, el diseño del muestreo puede ser más o menos controlado por el muestreador, dependiendo de las dificultades prácticas, mientras que un conocimiento solo parcial de las importantes variables explicativas necesarias para modelar una pesquería sin sesgos, no pueda ser fácilmente rectificado por el modelista. Los modelos son un instrumento importante en la investigación de pesquerías, pero aquí, para la recopilación de estadísticas básicas de pesquerías de túnidos, se aboga por un diseño básico apoyado en la mejor aproximación práctica a un esquema de muestreo de probabilidad.

#### La población

La población que ha de ser sometida a muestreo y la naturaleza de cada uno de sus miembros, denominados *unidades de muestreo*, debe ser cuidadosamente estudiada antes de diseñar un esquema de muestreo, ya que es probable que la *población observable*<sup>1</sup> sea un subconjunto de la *población de interés*. En los estudios de una flota pesquera, la población de interés puede incluir todos los barcos de la flota, pero la población observable podría consistir tan solo en aquellos barcos que están accesibles en puertos cercanos. Para estudios biológicos, la población de interés podría ser todos los peces del stock, pero la población observable podría reducirse a la parte del stock que se encuentre accesible en el total de desembarques. Puesto que no es posible someter a muestreo la población de interés, se debe asumir una conexión entre ésta y la población observable. En el caso de las flotas pesqueras, por ejemplo, el supuesto de que la parte no observada de las mismas se comporta de la misma forma que la parte observada facilitaría dicha conexión y sólo sería necesario un factor de extrapolación para convertir las estimaciones de la encuesta en estimaciones de la población de interés. Respecto al muestreo biológico, los desembarques observables,  $L$ , podrían estar relacionados con el stock,  $W$ , por una función de capturabilidad,  $q$ , de talla,  $l$ , y esfuerzo de pesca,  $E$ :

$$L_i = q(l).E.W_i$$

Un modelo de este tipo supone que la pesca es aleatoria en relación con los peces (Hilborn y Walters, 1992, p.177). En ambos ejemplos los supuestos son fuertes y podrían generar controversia. La población de interés, el subconjunto observable y la supuesta conexión entre ellos deberían exponerse explícitamente en cualquier informe sobre muestreo. En el siguiente párrafo, la palabra “observable” tendrá el significado, aunque no se diga, de “población”.

---

<sup>1</sup> ‘La población observable’ se propone como término más claro que el de ‘marco de muestreo’ de la teoría del muestreo.

## *Aleatoriedad*

Los estadísticos quieren una selección aleatoria de las unidades de muestreo para que la estimación de parámetros de la población pueda justificarse por la teoría de probabilidades. En la práctica esto resulta con frecuencia difícil de conseguir. Las ventajas de esforzarse en conseguir la aleatoriedad pueden explicarse de forma intuitiva como sigue. Consideremos la simple tarea de estimar la talla media de los peces en los desembarques de un barco pesquero por medio de un sencillo muestreo aleatorio. La constitución de los desembarques se habrá visto afectada por muchos factores, tales como el lugar del lance, la temporada, el clima, el personal que clasificó las capturas, etc. Si la muestra se obtiene de una zona restringida dentro del conjunto de desembarques, podría reflejar tan sólo parte de uno o de algunos lances efectuados en circunstancias restringidas, y la talla media de dicha muestra, por lo tanto, podría ser muy diferente de la talla media (desconocida) del conjunto de la captura. Además, es probable que la variabilidad dentro de una muestra restringida sea menor a la del conjunto, lo que significa que la varianza y los límites de confianza en torno a la media estimada están subestimados, lo cual da una falsa impresión en cuanto a la precisión. Si se muestrean peces procedentes de lugares elegidos al azar, es de esperar que los factores que influyen sobre la talla de los mismos tengan en proporción los mismos efectos sobre la muestra. En términos estadísticos, la aleatoriedad proporciona estimadores insesgados (de diseño) de la media y la varianza. El apartado 4.2.4 trata sobre conseguir la mejor aproximación a la aleatoriedad en diversas situaciones prácticas.

## *Información*

El muestreo de pesquerías suele ser costoso, por lo que es conveniente obtener y conservar la mayor información posible de cada una de las unidades de muestreo. La información que una unidad de muestreo facilita respecto a la población depende de:

- El número de variables medidas en la unidad de muestreo, por ejemplo, se puede obtener la talla, edad y madurez de cada uno de los peces extraídos de una captura, aunque con frecuencia el único dato que se obtiene fácilmente es la talla.
- La relación entre dichas variables, por ejemplo, la madurez del pez depende de su edad. Los valores de las diferentes variables observadas deben conservarse juntas y han de analizarse como un vector para cada unidad de muestreo con el fin de respetar dicha relación para, por ejemplo, la creación de modelos. Caso contrario, la información se pierde.
- La precisión en la medición. Esto resulta más importante en unas variables que en otras, por ejemplo, el esfuerzo de pesca es difícil de medir en cierto tipo de barcos; la madurez de un pez podría resultar difícil de establecer con precisión. El ideal sería que en los casos difíciles, la precisión de las mediciones fuese estimada por diferentes personas que efectuasen mediciones independientes de las mismas variables en el mismo conjunto de unidades de muestreo. Una gran varianza en la medición podría eliminar las ventajas de un complicado esquema de muestreo llevado a cabo con gran esfuerzo y coste.
- Que la unidad de muestreo haya sido seleccionada al azar o bien tras una cuidada selección. En este último caso, parte de la información obtenida de la unidad de muestreo está relacionada con el método de selección, es decir, con el sesgo, no con la población. Una estimación “no está sesgada” si su media tras muchas repeticiones del muestreo es igual al auténtico valor de la población. El sesgo no es necesariamente malo si es constante y con frecuencia este es un supuesto necesario en las tareas efectuadas en materia de pesquerías.
- La varianza,  $\sigma^2$ , de las unidades de muestreo en la población; la información facilitada por una unidad de muestreo es proporcional a  $1/\sigma^2$ .  $\sigma^2$  se estima por medio de la varianza de la muestra,  $s^2$ .

La información sobre la población facilitada por una muestra de  $n > 1$  unidades de muestreo depende de:

- Si las unidades de muestreo han sido extraídas independientemente o según un patrón. La varianza de la media de la muestra se estima por  $s^2/n$  donde  $n$  representa el número de unidades de muestreo en la muestra, aunque esto es cierto sólo si las unidades de muestreo han sido obtenidas independientemente. Las unidades de muestreo que están más juntas en términos de espacio o tiempo tienden a ser más similares que aquellas que están más distantes entre sí. Por tanto, las unidades de muestreo obtenidas dentro de un patrón tendrán información relacionada con el patrón y no con la población. Por esta misma razón, las unidades de muestreo obtenidas dentro de compartimentos de una población, presentarán una mayor similitud entre sí dentro de dichos compartimentos de la que tienen aquellas que

proceden de diferentes compartimentos. Las poblaciones compartimentadas son corrientes, por ejemplo, los peces clasificados en el mercado por barco y posiblemente también por categoría de talla; los barcos que usan un puerto determinado; mareas efectuadas dentro de un mismo trimestre. Los esquemas estadísticos de muestreo, tales como el estratificado y el muestreo multietápico están diseñados para aislar la varianza entre compartimentos; las unidades de muestreo se localizan de forma independiente y aleatoria dentro de los compartimentos. [Quienes crean los modelos usarían modelos mixtos para estimar las varianzas entre compartimentos (Pinheiro y Bates, 2000).]

El número,  $n$ , de unidades de muestreo a incluir en una muestra debe ser lo mas elevado posible, dependiendo de los recursos y del personal disponible. Dentro de un enfoque científico es necesario decidir acerca del nivel mínimo de precisión aceptable y del nivel de confianza necesario para establecer que se ha alcanzado dicho nivel de precisión. Estos valores pueden después aplicarse a una formula que incluya el tamaño de la muestra, por ejemplo, Thompson (1992, capítulo 4, véase el recuadro a continuación), suponiendo que todas las unidades de muestreo han sido obtenidas independientemente.

### Estimación del tamaño de la muestra (basado en Thompson (1992))

Se ha de estimar un parámetro de población  $\theta$  (por ej. media de población) por medio de un estimador  $\bar{\theta}$ . El objetivo es que la estimación se acerque al valor auténtico con una probabilidad alta.

Si el estimador  $\bar{\theta}$  es un estimador insesgado de  $\theta$  y tiene una distribución normal, entonces  $\frac{\bar{\theta} - \theta}{\sqrt{\text{var}(\bar{\theta})}}$  tiene una distribución normal. Aplicando  $z$  como el punto  $\alpha/2$  superior de la distribución estándar normal,

$$P\left(\frac{|\bar{\theta} - \theta|}{\sqrt{\text{var}(\bar{\theta})}} > z\right) = P(|\bar{\theta} - \theta| > z\sqrt{\text{var}(\bar{\theta})}) = \alpha$$

La varianza del estimador  $\bar{\theta}$  disminuye con el aumento del tamaño de la muestra  $n$ , por lo que si el tamaño de la muestra se incrementa suficientemente,  $z\sqrt{\text{var}(\bar{\theta})} \leq d$ , donde  $d$  es la diferencia máxima permisible entre la estimación y el valor auténtico.

Cuando se estima la media de una población mediante un muestreo aleatorio simple, la media de la muestra  $\bar{y}$  es un estimador sin sesgo de la media de población  $\mu$  con varianza  $\text{var}(\bar{y}) = \frac{(N-n)\sigma^2}{Nn}$ , donde  $N$  es el tamaño de la población,  $n$  es el tamaño de la muestra y  $\sigma^2$  la varianza de la población. Estableciendo

$$z\sqrt{\left(\frac{N-n}{N}\right)\frac{\sigma^2}{n}} = d$$

y resolviendo  $n$  se obtiene el tamaño necesario de la muestra:

$$n = \frac{1}{\left(\frac{d^2}{z^2\sigma^2} + \frac{1}{N}\right)} = \frac{1}{\frac{1}{n_0} + \frac{1}{N}}$$

donde

$$n_0 = \frac{z^2\sigma^2}{d^2}$$

Si el tamaño de la población  $N$  es grande en relación con el tamaño de la muestra  $n$ , de modo que pueda ignorarse el factor de corrección de la población finita, la fórmula para el tamaño de la muestra se simplifica a  $n_0$ .

Para muestreos más complejos que un muestreo aleatorio simple, el tamaño de la muestra se puede seleccionar por lo general de la misma forma, con un tamaño de muestra determinado de forma que la mitad de la amplitud del intervalo de confianza es igual a la distancia especificada.

Como ejemplo, tratamos de identificar el tamaño de muestra necesario para estimar la talla media en una gran población de tñidos, dentro del intervalo de 1 centímetro de la media auténtica con una confianza del 95% ( $\alpha=0.05$ ). La varianza procedente de anteriores muestras consideradas representativas de la distribución de la población es 52.2cm. Dado el gran tamaño de la población, se puede aplicar la fórmula para  $n_0$ , que da:

$$n_0 = \frac{(1,960^2) * 52.2}{1^2} = 200.53 \sim 201$$

donde la constante 1,960 es el punto superior  $\alpha=0,025$  de la distribución normal estándar.

Si el error relativo ( $r$ ), la diferencia entre la estimación y el valor auténtico, dividido por el valor auténtico, es lo que nos interesa, entonces se debe aplicar el siguiente criterio:

$$P\left(\left|\frac{\bar{\theta} - \theta}{\theta}\right| > r\right) < \alpha$$

Para estimar la media de la población  $\mu$  dentro de  $r\mu$  del valor auténtico con probabilidad  $1-\alpha$ , la fórmula del tamaño de la muestra es:

$$n = \frac{1}{\left(\frac{r^2 \mu^2}{z^2 \sigma^2} + \frac{1}{N}\right)}$$

Si  $\gamma$  representa el coeficiente de variación para la población, es decir  $\gamma = \frac{\sigma}{\mu}$ , la fórmula del tamaño de la muestra puede ser:

$$n = \frac{1}{\left(\frac{r^2}{z^2 \gamma^2} + \frac{1}{N}\right)}$$

Por tanto, el coeficiente de variación es la cantidad de la población de la cual depende el tamaño de la muestra cuando se tiene que controlar la precisión relativa.

Desafortunadamente, quienes desean obtener datos de pesquería no están dispuestos a aceptar menos de “lo mejor posible” en términos de precisión y confianza, por tanto, el enfoque pragmático – que además representa mucho menos trabajo – suele ser el más popular, sobre todo teniendo en cuenta que pocas pesquerías importantes han sido muestreadas en exceso. Sin embargo hay una cuestión más importante, que es cómo distribuir los recursos del muestreo entre diferentes fuentes de información; por ejemplo, cuadernos de pesca, desembarques y muestreo de la captura en la mar. Esto depende de los costos relativos y de la precisión disponible, a qué usos se aplican los datos combinados y la independencia conseguida en los diferentes conjuntos de datos. No existen fórmulas sencillas para resolver los problemas en forma genérica y cada caso necesitará probablemente de un proyecto de investigación. Un ejemplo de este tipo de proyecto es el de Beare *et al.* (2002) que aplicaron bootstrap con diferentes niveles de error aleatorio para evaluar la influencia de los índices de abundancia sobre la evaluación del stock.

#### 4.2.2 Sistemas de muestreo

Thompson (1992) describe una amplia variedad de sistemas estadísticos y las fórmulas de estimación que han de acompañarles. Otros buenos textos relativos al muestreo son los de Cochran (1977), Raj (1968) y Sukhatme y Sukhatme (1970). El objetivo aquí es presentar sistemas de muestreo más asequibles y adecuados para el trabajo en pesquerías. En el último apartado se comenta sobre la forma de llevar a cabo un muestreo óptimo.

##### *Muestreo aleatorio simple sin sustitución*

Es muestreo aleatorio simple (srs) cuando cada una de las muestras de  $n$  unidades diferentes de muestreo (s.u.) extraídas de una población de  $N$  tiene la misma probabilidad de ser seleccionada. Se usa una tabla de números aleatorios o, en muchos casos, la mejor simulación de la misma, para escoger unidades de muestreo “sin sustitución”, es decir, que ninguna pueda aparecer más de una vez en una muestra. El muestreo aleatorio simple puede aplicarse a poblaciones enteras o a subconjuntos preestablecidos, por ejemplo dentro de estratos de muestreo o en etapas jerárquicas de un sistema de muestreo (véase más adelante). El muestreo aleatorio simple es un sistema razonable de muestreo cuando no existe información previa acerca de los posibles valores de la variable de interés en diferentes unidades de muestreo. Caso de existir tal información y si ésta se considera fiable, puede usarse para diseñar otros esquemas de muestreo que proporcionen mayor precisión. El muestreo aleatorio simple es adecuado cuando no interesa la variación de la variable en el tiempo y el espacio. Tiene la gran ventaja de resultar sencillo de implementar y también para hacer estimaciones. Las muestras aleatorias simples son con frecuencia adecuadas para el ajuste de modelos o bien para la “estratificación posterior” tras el muestreo, en el caso de que sea necesario observar los resultados de alguna variable, como por ejemplo la edad o el sexo.

### *Muestreo aleatorio simple con sustitución*

Es muestreo aleatorio “con sustitución” cuando una unidad de muestreo se sustituye en la población cada vez que se extrae para formar parte de la muestra. Por tanto, una unidad de muestreo puede aparecer más de una vez en cualquier muestra. En el muestreo aleatorio simple con sustitución, cada una de las posibles secuencias de las unidades de muestreo  $n$  tiene la misma probabilidad. De ordinario, esto resultaría ineficaz, pero es útil cuando se requiere la posibilidad de obtener observaciones repetidas de una unidad de muestreo individual, por ejemplo, considerar varias mareas de un barco para su observación.

### *Muestreo con probabilidad proporcional al tamaño*

En ocasiones se posee información que indica que ciertas unidades de muestreo “grandes” podrían dar un valor más alto de la variable de interés que las unidades de muestreo “pequeñas”. Por ejemplo, se supone que los grandes pesqueros pescarán más peces que los pequeños. En el muestreo con probabilidad proporcional al tamaño (pps) a cada una de las unidades de muestreo se asigna una probabilidad de selección que es proporcional al valor que se supone a la variable de interés. Una forma sencilla de obtener una probabilidad proporcional al tamaño de la muestra, es hacer una lista de todas las unidades de muestreo en la población junto con las probabilidades que se les asignan. Las probabilidades acumuladas de cero a uno se ponen en una columna adicional. Los números aleatorios uniformes de 0 a 1 se extraen y equiparan a las probabilidades acumuladas para hallar la siguiente unidad de muestreo a seleccionar. La probabilidad proporcional al tamaño del muestreo resulta más eficaz que el muestreo aleatorio simple, posiblemente mucho más eficaz, pero sólo en el caso de que la información que se aplique para asignar las probabilidades de selección sea fiable. De lo contrario, sería peor (Cotter *et al*, 2002) y no valdría la pena arriesgarse. Se necesitan formulas especiales de estimación para corregir la probabilidad proporcional al tamaño en cuanto al sesgo hacia unidades de muestreo “grandes”. La probabilidad proporcional al tamaño es una alternativa a la estratificación de unidades muestreo por tamaño y podría resultar más fácil de implementar.

### *Muestreo sistemático*

En este esquema, hay una distancia fijada o número de unidades de muestreo entre cada una de las unidades de muestreo seleccionadas para la muestra (es decir, las posiciones de muestreo están ordenadas en cuadrículas de 1 ó más dimensiones. Se han hecho muchas aplicaciones en el terreno de las ciencias marinas cuando se ha querido distribuir el esfuerzo de observación en el espacio y/o el tiempo, por ejemplo, haciendo una medición cada  $x$  horas, obteniendo información de los peces dentro de una cuadrícula geográfica de 2 dimensiones, etc. Para la estimación de las medias y varianzas en el muestreo sistemático se aplican con frecuencia las fórmulas del muestreo aleatorio simple sin sustitución, pero existen riesgos de sesgo al hacerlo así a causa del esquema del muestreo:

- Tendencias u oscilaciones en la variable de interés podrían significar que la parrilla de muestreo encuentra más valores altos que bajos o viceversa.
- La periodicidad en la variable de una longitud de onda comparable al intervalo de la parrilla, podría significar que la mayor parte de las observaciones se sitúan en la parte alta o en la parte baja de las oscilaciones. Este tipo de sesgo se denomina “aliasing” (solapamiento en el dominio frecuencial).

El punto inicial y la orientación de la parrilla han de seleccionarse de forma aleatoria dentro del área que interesa, si ello es posible. Las muestras sistemáticas son buenas en general para modelar dentro de una estructura espacio-temporal, pero entraña riesgos. Es bien sabido que la disposición de números aleatorios a lo largo de un eje lineal suele sugerir la presencia de tendencias (Kendall, 1976, par.3.17) por lo que cualquier tipo de modelado de tendencias aparentes en una parrilla debe asentarse en razones sólidas previamente establecidas, con el fin de incluir variables explicativas.

### *Muestreo estratificado*

Las personas que llevan a cabo el muestreo suelen desglosar una población en “estratos” geográficos, temporales, biológicos (por ejemplo, talla) o tipo de pesca (por ej. DCP, o dispositivos de concentración de peces en contraposición con cardúmenes libres). Esto podría deberse a dos razones:

- Distribuir el esfuerzo de observación uniformemente en el tiempo y espacio.
- Emplear información previa sobre la variación de la variable de interés con el fin de mejorar la eficacia de la encuesta en la estimación de la media global y la varianza.

La primera, es común y válida para muchas aplicaciones prácticas, si bien no es necesariamente eficaz en el terreno de la estadística para estimar un valor medio. Por lo general, las muestras se recogen dentro de cada uno de los estratos por muestreo aleatorio simple, o el método más aproximado. Para una mayor eficacia, los límites del estrato deben establecerse de forma que la varianza dentro del estrato sea lo más pequeña posible; es decir, localizar los límites allí donde aparecen las interrupciones o las pendientes más pronunciadas en la variable de interés. La eficacia se ve igualmente afectada por los tamaños de muestra asignados a cada estrato. Una asignación proporcional destina el mismo número de observaciones por unidad de área o tiempo. Esta opción suele ser adecuada cuando la estratificación se produce por la primera razón. Una asignación óptima destina observaciones a cada estrato de acuerdo con su tamaño y la desviación estándar dentro de ese estrato. Resulta apropiada cuando la estratificación obedece a la segunda razón.

Los sistemas de muestreo aleatorio estratificado requieren que al menos dos unidades de muestreo estén localizadas en cada estrato a fin de poder estimar la varianza global. Sin embargo, en la práctica 2 unidades de muestreo no dan una estimación fiable de la varianza dentro del estrato, incluso si no faltan valores, y es preferible contar con muchas más de 2. Existe el riesgo de que un requisito necesario para estimar una varianza produzca un muestreo excesivo de los estratos menos variables, lo cual resultará costoso e ineficaz. Se puede considerar que los estratos son un lujo: conviene limitar su número a un mínimo si los recursos con los que se cuenta para el muestreo son escasos y contentarse con menos información geográfica y/o temporal. Así las estimaciones serán más precisas y fiables.

#### *Muestreo multietápico*

Los científicos que trabajan en las pesquerías encuentran con frecuencia poblaciones estructuradas de forma jerárquica; por ejemplo, los peces por captura, por marea, por barco y por flota. Este tipo de población podría someterse a un muestreo aleatorio simple sin tener en cuenta la estructura jerárquica, pero esto resulta a veces imposible de llevar a cabo, por ejemplo, en el caso de que los observadores se tengan que trasladar de un barco a otro en la mar para muestrear diversas capturas. Un procedimiento más factible es obtener una muestra de unidades “primarias” (u.m.p.) al nivel más alto en primer lugar, y después una muestra de unidades de muestreo “secundarias” (u.m.s.) de cada una de las unidades primarias de muestreo obtenidas, a continuación una muestra de unidades “terciarias” (u.m.t.) de cada unidad de muestreo secundaria, y así sucesivamente. Por ejemplo (ignorando los aspectos prácticos que después se discutirán en relación con las encuestas de observadores), en primer lugar se obtendría una muestra de los barcos (u.m.p.), después una muestra de las mareas (u.m.s.) efectuadas por cada uno de los barcos elegidos, a continuación una muestra de las capturas (u.m.t.) entre las obtenidas en cada una de las mareas elegidas. Una vez realizado este tipo de muestreo, se dispone de fórmulas estándar para la estimación de la media y la varianza en cada nivel. También hay fórmulas teóricas para examinar la varianza en cada nivel y para ajustar la asignación de la muestra entre los niveles con el fin de mejorar la eficacia. Sin embargo, no siempre es factible introducir las mejoras en un contexto de pesquerías.

#### *Optimización del muestreo*

El muestreo es costoso, y no sólo en el terreno de las pesquerías, por ello se hacen grandes esfuerzos, desde el punto de vista estadístico, para maximizar la información obtenida de las observaciones cambiando los diseños de muestreo, la fijación de las muestras y las fórmulas de estimación. La aplicación de estas ideas en el contexto de las pesquerías puede sin embargo resultar decepcionante en primer lugar porque el muestreo está con frecuencia muy limitado por factores geográficos y logísticos y en segundo lugar porque las encuestas de pesquería suelen interesarse por más de una especie. Una encuesta que podría considerarse óptima para una especie podría resultar totalmente ineficaz para otra, a causa de las diferentes distribuciones geográficas, etc. Para optimizar la encuesta, se podría aplicar un enfoque multivariante usando un componente principal en lugar del resultado para una sola especie. Sin embargo, cuando otra especie adquiere más importancia relativa, el riesgo de que falte información importante es muy elevado. El que la implementación resulte fácil y fiable suele ser un factor más importante a la hora de diseñar una encuesta sobre pesquerías que la eficacia estadística.

Se recomienda hacer ensayos de recogida intensiva de muestras, bien continuas de gran tamaño o de muestras repetidas de menor tamaño con el fin de verificar la calidad del muestreo. Este tipo de ensayos apoya el supuesto de que la percepción de la población no se ve afectada por el tipo de muestreo.

#### **4.2.3 Estimando la precisión**

Una estadística estimada con precisión se considera aquí como aquella que se sitúa muy próxima a un valor determinado en un muestreo repetido. Una estadística estimada con exactitud es aquella que se encuentra

próxima al auténtico valor de la población en un muestreo repetido (véase también el apartado 4.1.1). Así, la varianza muestral del estadístico estima la precisión; estima la exactitud sólo si la muestra y la fórmula de estimación no están sesgadas. El error de los cuadrados medios es la varianza de la muestra más el cuadrado del sesgo. Estima la exactitud pero dado que el sesgo es rara vez un factor que se puede estimar en el ámbito de las pesquerías, se aplica pocas veces, siendo más corriente aplicar el concepto de precisión medido como 1 (varianza de la muestra).

La varianza de la muestra es estimable en muchos casos partiendo de fórmulas analíticas que se dan en los textos de muestreo. Un supuesto importante es que cada observación se hace de forma independiente (véase el apartado 4.2.1) lo cual será usual si el muestreo es aleatorio y de acuerdo con un esquema de muestreo estadístico establecido. En caso contrario, las fórmulas analíticas podrían sobreestimar la precisión del muestreo, ya que la dependencia entre observaciones reduce los grados efectivos de libertad usados como divisor en los estimadores de varianza.

La mayor parte de las fórmulas de muestreo suponen que los números de individuos en la muestra y en la población se conocen con exactitud. En consecuencia, no es necesario tener en cuenta su varianza (var) al extrapolar la media de una muestra a un estimador del total de una población. Si se conoce con exactitud el factor de extrapolación y  $x$  es una variable aleatoria, un resultado básico en estadística matemática es que

$$\text{var}(kx) = k^2 \cdot \text{var}(x) .$$

En el campo de las pesquerías, la presunción de un conocimiento exacto del factor de extrapolación sería en ocasiones un exceso de optimismo. La correspondiente fórmula de estimación cuando  $k$  es también una variable aleatoria independiente de  $x$  es (Goodman, 1960)

$$\text{var}(kx) = k^2 \cdot \text{var}(x) + x^2 \cdot \text{var}(k) - \text{var}(k) \cdot \text{var}(x) .$$

Un ejemplo de factores de extrapolación dudosos ocurre en las encuestas de observadores cuando se muestrea una sola captura y los volúmenes relativos de la muestra y la captura han de ser estimados. La varianza de la estimación de toda la captura requeriría un segundo factor de estimación. Cuando  $k$  y  $x$  no son independientes se han de aplicar fórmulas más complicadas (Goodman, 1962; Bohrnstedt y Goldberger, 1969).

Fórmulas analíticas podrían no estar disponibles o bien éstas podrían resultar difíciles de aplicar para estadísticas derivadas de un proceso de estimación complicado; por ejemplo, números por edad basados en un ALK que implica muestreo de talla y después submuestreo por edad (apartado 4.3.6). Un enfoque rudimentario pero efectivo que se puede aplicar a este problema es comparar el número y la independencia de las observaciones que han contribuido a cada estimación. Así, por ejemplo, el número de partes duras leído por edad podría servir para estimar la precisión relativa del número de peces estimados por edad, sobre todo si las partes duras se obtuvieron en varias mareas en diferentes zonas. Sin embargo, para un trabajo científico formal debe aplicarse el proceso iterativo “bootstrap”.

El “bootstrap” es un método informatizado que funciona por muestreo repetitivo con remplazamiento de una muestra existente bajo el supuesto de que dicha muestra es una fiel representación de la población. Este se denomina re-muestreo (Efron y Tibshirani, 1993; Davidson y Hinkley, 1997). La aplicación del “bootstrap” a un ALK creado por doble muestreo es un proceso en dos etapas: en primer lugar se aplica el “bootstrap” a la muestra de talla y después, para cada una de las “réplicas” creadas, se obtiene una muestra de edad en base a los otolitos disponibles de cada clase de talla. El “re-muestreo” debería, de preferencia, seguir el proceso de muestreo real en todos sus aspectos. Repitiendo el “re-muestreo” muchas veces, se obtienen distribuciones de los estadísticos que interesan, en base a los cuales se pueden estimar varianzas e intervalos de confianza. La programación de este tipo de “bootstrap” puede resultar complicada y su ejecución podría tomar un tiempo considerable, sobre todo en el caso de muestras grandes. No vale la pena llevar a cabo esta tarea si se considera que la muestra original contiene un sesgo importante hacia una localidad, período de tiempo o circunstancia determinados.

#### **4.2.4 Fuentes de información**

Nuestra destreza para evaluar y prever algo en relación con los stocks de peces y entender las migraciones y los procesos que regulan su éxito, depende de nuestro conocimiento de las pesquerías y de la biología de las especies objetivo en diferentes zonas del océano. El total de desembarques y del esfuerzo de una flota pesquera cada año,

ha de ser con frecuencia estimado por medio de un procedimiento de muestreo, ya que la recogida de datos de todas las salidas (un censo) es demasiado costosa o bien poco práctica. La información biológica debe así mismo obtenerse por muestreo de las pesquerías, porque las encuestas realizadas con barcos de investigación independientes de las pesquerías a gran escala en el Atlántico pueden resultar poco interesantes desde un punto de vista económico. En este apartado se describen tres métodos dependientes de las pesquerías para obtener información de las mismas y de la biología de las especies afines a los túnidos, que son los cuadernos de pesca, muestreo de desembarques y encuestas con observadores. Otras fuentes de información a considerar son las fábricas de conservas y los centros de pesca deportiva.

Las limitaciones de la información dependiente de la pesquería deben tenerse en cuenta (Paloheimo y Dickie, 1964; Hilborn y Walters, 1992; Swain y Sinclair, 1994; Rose y Kulka, 1999), puesto que los pescadores tienden a buscar las grandes concentraciones de peces ya conocidas en lugar de hacer un muestreo aleatorio del stock. Pueden por tanto alcanzar una CPUE alta incluso si los stocks están bajos. Además, el potencial de captura de un barco tiende a aumentar en el tiempo ya que se instalan máquinas más potentes y un mejor equipo de pesca. El potencial de captura de la flota en su conjunto podría cambiar así mismo como resultado de estos cambios, sobre todo si se sustituyen los barcos viejos por nuevos; igualmente, también podría disminuir debido a una pérdida de barcos por cuestiones económicas.

Tanto si se aplican los siguientes procedimientos de muestreo como si no, los métodos de muestreo, fórmulas y modelos realmente aplicados deben recogerse en documentos sencillos que denominaremos “Procedimientos Operativos Estándar” (POE). Un individuo puede así sustituir a otro en la tarea de recogida de datos sin variar el procedimiento, o bien, en el caso de que sea necesario actualizar los procedimientos, se mantiene así un registro de qué cambios se han hecho y cuando han tenido lugar, ya que puede ser un factor crucial para evaluar series temporales. Los POE deben ser accesibles a los grupos de trabajo científico de ICCAT, lo que permitirá evaluar el valor científico de los resultados del muestreo.

#### *Cuadernos de pesca*

La mayor parte de los capitanes de cerqueros, palangreros y barcos de cebo usan cuadernos de pesca para registrar las incidencias de cada marea y los peces capturados (**Anexo 1**). Por lo tanto, estarán de acuerdo seguramente en usar un cuaderno diseñado al objeto de hacer un mejor seguimiento de la pesquería, en particular si dicho diseño se hace con su colaboración y con la de otras personas que puedan estar interesadas. Un cuaderno de pesca bien diseñado debería facilitar información a poco coste sobre las cantidades de peces retenidos a bordo para ser desembarcados, el esfuerzo de pesca, los desembarques por unidad de esfuerzo (LPUE), estrategias de pesca y detalles de los pesqueros. También podría surgir la oportunidad de recoger otros datos de interés, por ejemplo, la cantidad de peces descartados y, en consecuencia, la captura por unidad de esfuerzo<sup>2</sup> (CPUE). Esto se trata de nuevo en el apartado 4.4.

El éxito de un sistema de muestreo dependerá en parte de la actitud que se adopte hacia el mismo. El capitán debe comprender en su totalidad el cuaderno de pesca y su objetivo. Podría ser necesaria una conversación informativa y tal vez un ligero entrenamiento, por ejemplo, sobre identificación de especies. Pero es igualmente necesario que la autoridad en materia de pesca adopte una postura constructiva respecto a que todos los cuadernos de pesca sean cumplimentados, ya que la gente pierde interés cuando se ignora la información presentada. Un examen y la discusión regular con los capitanes serán útiles para evitar errores repetidos o ambigüedades y un aporte regular de información resumida y útil fomentará el interés y servirá también de comprobación de errores. El aporte de información podría hacerse por marea o bien constituir un informe anual de datos agregados sobre las actividades y desembarques de toda la flota. Si se introduce el sistema de cuaderno de pesca en un ordenador portátil puesto al servicio del capitán será beneficioso para todos si sirve para reducir los errores de transcripción de la información y ayuda al capitán a resumir o presentar detalles de anteriores actividades pesqueras.

Un sistema de cuadernos de pesca, incluso bien diseñado, tendrá escasa utilidad si existen limitaciones legales a la información que registra el capitán, por ejemplo, a causa de las cuotas de desembarques o zonas de pesca restringidas. La promesa de que los datos serán confidenciales podría no ser una cuestión defendible ante un juzgado y se debe obtener asesoría legal antes de entregarlos. Podría también haber restricciones de tipo comercial que inhiban al capitán de comunicar las zonas de pesca y las capturas. Otros posibles problemas para el sistema son la falta de precisión y una identificación de especies inexacta, así como la omisión de los peces descartados o consumidos en la mar. A falta de datos de muestreo sobre peces no desembarcados, preguntar

---

<sup>2</sup> Aquí ‘Captura’ se refiere a peces retenidos + descartados. ‘Desembarques’ podría ser un subconjunto de peces retenidos si algunos se consumen a bordo, se transbordan o bien posteriormente se descartan para dejar sitio a peces de mayor precio.

sobre los criterios en materia de descartes, tallas mínimas aceptables y el consumo de peces, podría contribuir a mejorar mucho la valía científica de los datos de cuadernos de pesca.

Tal vez no sea posible introducir un cuaderno de pesca en cada uno de los barcos de una pesquería debido a la falta de voluntad de cooperar, la distancia geográfica del puerto o bien a la naturaleza artesanal de la pesquería. En ese caso surge la posibilidad de que se produzcan sesgos, si por alguna razón, los barcos sin cuadernos de pesca pescan en forma diferente a aquellos que lo tienen. Podría también existir un límite en la práctica al número de cuadernos que pueden ser recogidos y usados. Esto, en contraste, es un problema de muestreo incluso en el caso de que una gran parte de las salidas a pescar queden consignadas en el cuaderno de pesca. Un cierto criterio aleatorio en la selección de barcos, con cambios frecuentes, ayudaría a disminuir las posibilidades de sesgo en las deducciones sobre la flota en su conjunto que podrían producirse si se consigna repetidamente en los cuadernos el mismo subconjunto de barcos. Cualquiera que sea el motivo de una cobertura incompleta de la pesquería por los cuadernos de pesca, la extrapolación de los resultados obtenidos de los barcos observados al total de la flota es necesaria para estimar los desembarques totales y el esfuerzo (pero no para estimar la LPUE media). La estimación y extrapolación se tratan en el apartado 4.2.6.

Una vez decidido que un sistema de cuadernos de pesca es algo útil, el cuaderno ha de registrar en **cada una de las mareas**:

- La identidad de barco, capitán, propietario.
- Detalles del barco incluyendo tipo, bandera, tonelaje de registro bruto, potencia de las máquinas (de preferencia la que se refiere al eje de la hélice, es decir, excluyendo la potencia usada para los generadores, refrigeración, chigres, etc.); eslora (detallando si se trata de eslora total o de eslora registrada); capacidad de almacenamiento de peces; número de personas que componen la tripulación de pescadores y los tiempos de los turnos trabajados (en caso de que difieran del tiempo dedicado a manipular la captura).
- Fecha, hora y puerto de salida y arribada, incluyendo paradas intermedias.
- Tiempo perdido debido a paradas, mal tiempo u otro tipo de interrupciones.
- Detalles sobre cualquier trasbordo o desembarque de peces realizado en el transcurso de la marea.
- Detalles sobre el equipo de detección de peces disponible a bordo.
- Detalles generales sobre el arte de pesca, esto es, excluyendo las modificaciones hechas de un lance a otro. Respecto a las redes, se debe consignar el tamaño de la malla (concretando si es de nudo a nudo o bien se trata de una medición de la red estirada), tipo de cuerda y su tejido y si es posible, plano de la red. En el caso del palangre, los detalles han de incluir el número total de anzuelos, número de anzuelos entre flotadores, tipo de anzuelo y un diagrama general de las dimensiones del palangre.
- Detalles generales sobre las técnicas de pesca, incluyendo las operaciones de lanzado e izado, profundidad usual de pesca, tiempo de inmersión, limitaciones a la pesca impuestas por las condiciones atmosféricas.
- Especie objetivo de la marea, y los criterios aplicados por la tripulación para decidir el descarte o conservación de peces de las diversas especies, por ejemplo, tallas mínimas de desembarque.
- Nombres de las especies de peces que se identificarán en el registro de captura, si se pescan, y los de aquellas que permanecerán mezcladas por resultar difíciles de separar o bien porque el mercado no requiere esta separación. [Los nombres vernáculos son a menudo motivo de confusión (por ej. bonito por listado) por lo que la identidad de las especies se comprobará y traducirá al latín en los registros archivados por las autoridades de la pesquería. Véase el apartado 4.2.5.]
- Métodos usados para estimar la cantidad de peces retenidos (y si es posible, los descartados).

Muchos de estos detalles serán iguales y pueden copiarse de una marea a otra.

En los cuadernos de pesca se deberá registrar **cada día** durante la marea (tanto si se ha conseguido captura como si no) la fecha, posición a mediodía, posición durante las faenas de pesca, actividades, el tiempo que se ha estado navegando, buscando los cardúmenes y pescando, volumen del esfuerzo de pesca aplicado y captura por especie.

En los cuadernos de pesca se registrará en **cada uno de los lances**, tanto si ha sido productivo como si no:

- El arte desplegado (si cambia de un lance a otro). Se darán los detalles suficientes para poder calcular una adecuada medida de esfuerzo de pesca en cada lance.
- Posiciones y tiempos de lanzado e izado de la red, y también puntos de referencia en el trayecto si el barco no navegó directamente entre los dos.
- Daños sufridos en el arte durante la pesca.

- Estado de la mar y del tiempo. Las variables oceanográficas, de acuerdo con la autoridad de pesquerías, dependiendo de los sensores disponibles.
- Las cantidades retenidas a bordo de cada especie, las especies mezcladas, así como los números o pesos.
- Y, si están disponibles, estimaciones de las cantidades de cada especie que han sido descartadas y también los descartes de especies mezcladas.

En los cuadernos de pesca **al final de cada marea** se registrará:

- Tiempo total en unidades concretas (por ejemplo, horas, días trabajados, períodos de 24 horas, etc) empleadas en busca de pesca y pescando.
- La cantidad total desembarcada, según el peso registrado en balanza comercial, si es posible por especies y también mezclado.

Al final de cada marea se debe comprobar si el total registrado como desembarcado para su venta concuerda con las cantidades retenidas en cada lance. Es fácil que surja un error sistemático de estimación, en particular si no se usa a bordo el equipo de pesaje. En ese caso, los registros del cuaderno de pesca de las cantidades diarias retenidas deberán ajustarse en forma proporcional, con el fin de que su suma concuerde con el peso total desembarcado (menos las cantidades que hayan sido perdidas en el curso de la marea). Junto con los datos se consignará el factor de ajuste. Otra forma de mejorar el interés científico de los datos del cuaderno de pesca tras el desembarque, es añadir más detalles sobre la composición por especies de cada captura. Esto es posible si se separan las especies y sus pesos se consignan por separado como parte del proceso comercial.

Los días que el barco pasa buscando peces pero sin conseguir pescar se deben considerar como días de pesca. Con frecuencia se considera erróneamente que los días de pesca son tan solo aquellos en los que se obtienen capturas. La búsqueda es también una actividad pesquera. Por consiguiente, el cuaderno de pesca debe contemplar esta actividad y contener instrucciones para que se consignan todas las que se lleven a cabo, es decir, qué estaba haciendo el barco durante los días en los que no se obtuvo pesca. El hecho de que el barco se encuentre a la deriva por el mal tiempo o por alguna avería en el arte, o bien navegando de un caladero a otro o intentando localizar un cardumen, representa una diferencia a la hora de contabilizar los días de pesca. Otra medida del esfuerzo, muy usada en el caso de los pesqueros pequeños es el “tiempo de búsqueda” – las horas diarias que el barco se dedica a localizar peces. El “tiempo de búsqueda” se calcula restando el tiempo de navegación del “día de pesca”. Estos datos pueden extraerlos los observadores directamente del cuaderno de pesca, o bien pueden ser estimados partiendo de los datos de observadores. Para el uso de DCP (dispositivos de concentración de peces) se han introducido nuevas mediciones del esfuerzo de pesca. Estas incluyen el número de lances, número de lances productivos y volumen medio de la captura por lance. Todos estos datos se desglosarán por tipo de arte de pesca.

Los datos de esfuerzo se presentarán en número de anzuelos en el caso del palangre y en días de pesca en el caso de las pesquerías de superficie. También se usa el número de anzuelos entre los flotadores como unidad de esfuerzo en las pesquerías multiespecíficas. Si esto no resulta práctico, se debe elegir una unidad de esfuerzo que refleje el esfuerzo dirigido a conseguir la captura correspondiente. A continuación se enumeran unidades de esfuerzo en orden de preferencia descendiente para cada tipo de arte de pesca.

Palangre:

1. Número total de anzuelos efectivos empleado (excluyendo aquellos que resultaron ineficaces en la pesca).
2. Número total de anzuelos empleado.
3. Número total de lances de palangre.
4. Número total de días de pesca por barco.
5. Número total de días de mar por barco (fuera del puerto).
6. Número total de anzuelos entre flotadores.
7. Número total de salidas (mareas) efectuado.
8. Número total de barcos que han tomado parte activa en la pesca.

Caña-liña (barcos de cebo):

1. Número total de días de pesca por barco (incluyendo los días de búsqueda, incluso sin obtener captura). Se deben excluir los días de pesca del cebo, pero se pueden registrar por separado con el fin de facilitar la evaluación de los stocks de cebo.
2. Número total de días de mar por barco.

3. Número total de cañas, es decir, cuantos hombres se emplearon en la pesca con caña.
4. Número total de salidas (mareas) efectuadas.
5. Número total de barcos que han tomado parte activa en la pesca.

Cerco, red de jareta (red de bolsa), red de cerco, red de enmalle, arrastre:

1. Número total de días de pesca por barco (incluyendo los días de búsqueda, incluso sin obtener captura).
2. Número total de días de mar por barco.
3. Número total de días de búsqueda (excluyendo el tiempo empleado en calar e izar la red).
4. Número total de salidas (mareas) efectuadas.
5. Número total de barcos que han tomado parte activa en la pesca.

Curricán, liña:

1. Número total de días de pesca con anzuelo (o liña).
2. Número total de días de pesca por barco.
3. Número total de día de mar por barco.
4. Número total de salidas (mareas) efectuadas.
5. Número total de barcos que han tomado parte activa en la pesca.

Almadraba:

1. Número total de días de almadraba (unidades de almadraba multiplicadas por días de mar).
2. Número total de almadrabas en activo.

Pesquería de DCP (dispositivos de concentración de peces).

1. Número total de lances.
2. Número total de lances positivos.

### *Desembarques*

El muestreo de los peces desembarcados puede resultar necesario para estimar el total desembarcado por una flota pesquera. Puede también facilitar información útil sobre las composiciones por talla y edad, peso por talla, madurez por talla y otras características biológicas de un stock, aunque esto podría verse algo restringido por la necesidad de comprar los peces que se hayan diseccionado o dañado de alguna forma en el curso de su observación. El presente apartado trata sobre el muestreo en el curso del desembarque. La estimación y/o extrapolación al total de desembarques de la flota o desembarques respecto a un estrato espacio-temporal se tratan en el apartado 4.2.6.

Existe un cierto número de sesgos potenciales a la hora de examinar los desembarques (en oposición a la captura) que debe ser tenido en cuenta. Incluyen:

- Los peces capturados se suelen conservar hasta el final de la marea y podrían desembarcarse en un puerto muy alejado del lugar de la pesca (sobre todo en el caso de las pesquerías industrializadas). En ese caso, la zona y el tiempo del desembarque podrían diferir mucho de los correspondientes a la captura. Por ejemplo, algunas capturas procedentes del Atlántico podrían desembarcarse en puertos del Pacífico o el Índico al año siguiente al de la captura.
- Los peces pueden ser manipulados hasta cierto punto a bordo de los barcos (por ejemplo, eviscerado, fileteado, eviscerado y sin agallas, congelado e incluso enlatado).
- Los peces podrían ser consumidos a bordo por la tripulación o bien descartados.

Lo primero a tener en cuenta es si el muestreo está dirigido a una flota, un stock o a un estrato espacio-temporal. Esto define la “población de interés” (Apartado 4.2.1). En la práctica, tan solo los peces desembarcados, o una parte de los mismos, se encuentran accesibles al muestreo, componiendo así la “población observable”. Los modelos a asumir para vincular los peces observables con el total de desembarques y en consecuencia, con los peces en la población de interés, han de ser tratados y documentados en un Procedimiento Operativo Estándar (POE) antes de emprender un muestreo costoso. Unos modelos que podrían aplicarse en la vinculación son:

- Los “desembarques observables por unidad de esfuerzo son los mismos que los desembarques totales por unidad de esfuerzo”. El esfuerzo puede servir de factor de extrapolación.
- “Todos los peces de  $>$  de X cm fueron retenidos” asumiendo desembarques = captura por encima de X cm.
- Un modelo elaborado aplicado para evaluar el stock partiendo de los datos de desembarques.

Cualquier sesgo en estos modelos asumidos se sumará a los sesgos en el muestreo de los desembarques, por lo que será conveniente revisarlos con regularidad, y si ello es posible, intentar minimizar su importancia, por ejemplo tratando de acceder a desembarques hasta entonces inaccesibles o bien implementando un programa de observadores para estimar el descarte (**Tabla 4.2.1**).

Los peces pueden ser observados en el mismo pesquero antes de su desembarque, en el muelle antes de su transporte por los compradores o bien en un mercado del puerto antes de su venta. De poder escoger, el mejor lugar de muestreo es aquel que ofrezca el mejor acceso a los peces y más tiempo antes de su traslado. La observación en otros lugares, por ejemplo en un carguero empleado para trasbordar los peces al puerto, posiblemente de más de un pesquero, no vale la pena si no hay seguridad respecto al origen de los peces. Los desembarques son un subconjunto de la captura total en el caso de que haya habido descartes en la mar o bien si parte de los peces han sido trasbordados o consumidos en la mar. Si no se tienen datos de muestreo, se debe intentar obtener información sobre el destino de aquellos peces que no han sido desembarcados.

El método para seleccionar los desembarques que han de incluirse en la muestra se ha de decidir antes de iniciar el programa de muestreo, con el fin de que resulte coherente. El problema es que no se sabe de antemano cuantos desembarques tendrán lugar ni cuando se producirán. El momento escogido para el desembarque puede verse influenciado por la temporada, el tiempo, día de la semana, lugar de la pesca, identidad del capitán y otros muchos factores potenciales. El arribar sistemáticamente a puerto para hacer el muestreo en miércoles alternos, por ejemplo, podría ser motivo de sesgo a causa de uno o más de dichos factores. Dejando al azar los días de muestreo dentro de un período determinado, por ejemplo, un trimestre del año, deja menos campo al sesgo, si bien los barcos que efectúen salidas más cortas (y desembarcan capturas con frecuencia) estarán presentes más a menudo que aquellos cuyas salidas tienen una mayor duración. Por lo tanto, los stocks de aguas costeras están probablemente más representados en las muestras que los procedentes de alta mar. Aquí, conviene resaltar la importancia de la población de interés (véase 4.2.1). Si se trata de los “desembarques totales de la flota” en ese caso el elegir los días de muestreo al azar es una política razonable ya que se confía que las mareas tanto cortas como largas estén representadas en la muestra en la misma proporción en que ocurren en la población. Si, por otra parte, se trata del “stock total de peces” y se considera que gran parte del stock se encuentra en aguas distantes, la presencia frecuente de las salidas cortas en una muestra sería ya un sesgo. El muestreo orientado al stock tiene el inconveniente adicional de mezclar los efectos de arte y barco con la localización geográfica. Por esta razón, es posible que convenga evitar este método.

Otra opción para el muestreo aleatorio de los desembarques de una flota, sería elegir barcos al azar con remplazamiento de una lista de toda la flota, tal como se sugiere más adelante para las encuestas de muestreo, siempre que sea posible organizar de forma práctica el tener acceso a barcos concretos cuando efectúan el desembarque. Esta opción es más complicada de implementar, pero resultaría mejor si los desembarques de algunos barcos permanecen en el puerto mucho más tiempo que otros, un factor que podría sesgar el muestreo basado en visitas hechas al azar. Otras opciones para muestreo de los desembarques son la estratificación y la probabilidad proporcional al tamaño (véase 4.1.2) basándose en el tamaño de los barcos o en las actividades. Tanto la población de interés como el sistema de muestreo han de estar documentados en un Procedimiento Operativo Estándar (POS).

Los desembarques pueden estar disponibles para el muestreo de varias y diferentes formas. Los peces pueden estar en montones o como una masa en la bodega de un barco, o pueden encontrarse en cajas u otro tipo de recipientes. Podría haber una sola especie o varias especies mezcladas. También podría tratarse de peces de tallas diferentes y más o menos frescos. Los siguientes párrafos son un intento de contemplar la mayor parte de las circunstancias que se puedan presentar.

- Muestreo de peces en masa

No hay garantía de que una gran cantidad de peces o una bodega, sometidos a muestreo tengan una mezcla homogénea; más bien ocurrirá lo contrario. Lo ideal sería que en el muestreo cada uno de los peces tenga la misma oportunidad de estar incluido en la muestra, aunque esto rara vez ocurre en la práctica a causa de las restricciones en el acceso físico a los mismos y otro tipo de dificultades típicas. En consecuencia, para conseguir un máximo de precisión en la media de la muestra, ésta debe estar compuesta de submuestras de peces sacados de diversos lugares de almacenamiento de la carga, es decir, del centro, de los extremos, de la superficie y del fondo. Si esto no se puede hacer, la persona encargada del muestreo deberá intentar otros medios prácticos para minimizar su influencia en la elección de cada pez, con el fin de que todas las clases posibles se encuentren en la muestra en proporciones aproximadas a las del grueso de la captura. Las clases de peces que podrían fácilmente estar representadas en exceso, por razones humanas son las grandes, las

pequeñas, las “representativas”, las que llaman la atención y las que no están a la vista pero se buscan. Para mejorar la precisión aún más, el número de peces recogidos en una muestra debería ser importante, aunque sólo en el caso de que los peces se seleccionen de forma independiente. El tiempo que se gasta efectuando muchas mediciones en una muestra importante obtenida de un solo lugar del grueso de la captura, podría emplearse mejor intentando obtener peces de otros lugares y conformándose con una muestra más pequeña. A continuación se trata sobre el número de peces a tomar como muestra.

- Especies mezcladas

Los datos de pesquería no suelen resultar muy útiles a menos que estén relacionados con especies conocidas. Cuando se tiene un conjunto de especies mezcladas para su muestreo, la primera tarea básica es estimar la proporción de cada una de ellas. Con frecuencia la mezcla se dará en masa. En este caso, los comentarios hechos antes respecto a la precisión del muestreo son oportunos, aunque probablemente será necesario obtener submuestras más grandes de peces de cada lugar en el grueso de la captura, para minimizar la influencia involuntaria del muestreador sobre cuales serán las especies incluidas. Las submuestras serán todas de un tamaño aproximado. La estimación de la proporción de la especie  $s$  en la carga será entonces los números,  $n_s$ , de individuos de esa especie en la muestra compuesta dividido por el número,  $N$ , de individuos de todas las especies. La muestra puede ser adecuada para estimar después las características biológicas de las especies comunes, pero no de las especies raras. Además, si es necesario, hay que obtener muestras de una sola especie, de nuevo buscando cada especie en diferentes lugares en el grueso de la captura. Las cuestiones relativas al muestreo de especies múltiples se tratan con más detalle a continuación.

En algunos casos, la complejidad de la captura requiere un sistema de muestreo complicado. La pesquería de cerco de túnidos tropicales entra en esta categoría. Estas pesquerías representan a menudo una combinación de especies y tipo de pesca, en las que la declaración de la captura por especie podría depender también mucho de la talla de los peces. Más adelante se facilita una descripción del procedimiento de muestreo simultáneo para esta pesquería en particular, como ejemplo de muestreo combinado. Este procedimiento permite obtener la composición por especies y la distribución por tallas de la captura.

Para el Atlántico y el Indico, se han diseñado estrategias de muestreo de túnidos tropicales en los cerqueros que se encuentran en puerto (Sarralde et al, 2005). Las capturas multiespecíficas son especialmente comunes cuando se pesca con DCP (dispositivos de concentración de peces). Los estratos están basados en la localización geográfica de las capturas, el tiempo y la asociación (por ejemplo DCP, cardúmenes libres), identificados todos partiendo del cuaderno de pesca del barco y del plan de las cubas. De preferencia, se debe muestrear una cuba que contenga peces procedentes de lances correspondientes a un solo estrato (lugar, estrato temporal y tipo de cardumen). En casos excepcionales, dependiendo del volumen del muestreo y las previsiones hechas, aquellas bodegas que contengan peces de lances que no proceden de la misma zona geográfica ni del mismo estrato temporal, pero cercanos en posición (menos de 5° de diferencia) y tiempo (menos de 15 días de diferencia) podrían considerarse válidas. Sin embargo, el muestreo nunca debería llevarse a cabo en cubas que contengan peces con diferentes asociaciones. El muestreo no deberá concentrarse ni en tiempo (se deben muestrear todos los meses de un trimestre) ni en espacio (se deben muestrear todas las zonas). Se recomiendan 15-25 muestreos para cada estrato.

Una vez se haya establecido la prioridad de las bodegas que han de ser sometidas a muestreo, éste puede iniciarse. Se recomienda la presencia de al menos dos personas, una para seleccionar y medir y la otra para anotar los datos en los formularios pertinentes. Se debe escoger un lugar de muestreo que resulte seguro, asegurarse de no impedir la descarga y de que el acceso a los peces sea sencillo y seguro. El muestreo puede tener lugar allí donde se descargan los peces, en cubierta (previa autorización del capitán) en la cinta transportadora, o allí donde se separan los peces grandes de los pequeños, que pueden medirse por separado, asegurándose de que no hay una preselección.

Si se someten a muestreo diferentes zonas de las bodegas (por ej. la parte superior o la parte inferior) la composición por especies podría resultar diferente. Para evitar esto, el muestreo de cada bodega debería tener siempre lugar en dos etapas o bien, hacer un submuestreo. La primera etapa será poco después de la apertura de la bodega y la segunda varias horas después, pero antes del final de la descarga.

Si la descarga implica cualquier tipo de selección de especies (por especies o peso) se tomará la muestra directamente de la bodega. Si no ha habido selección, el muestreo se podrá realizar en el curso de la descarga pero siempre de forma aleatoria.

Si la bodega contiene sólo peces grandes (>70 cm), se medirán 100 ejemplares en cada etapa (200 en total). Todos los ejemplares (especies mixtas) se tomarán al azar hasta alcanzar la cifra óptima.

Si la bodega contiene sólo peces pequeños (<70 cm), se tomarán 300 ejemplares en el curso de la primera etapa del muestreo (de todas las especies). Si se trata de listado, melva o bacoreta, se medirán los primeros 25 ejemplares, por especie y el resto se cuentan. Si se trata de patudo, rabil o atún blanco se deberán medir todos los ejemplares. En la segunda etapa, se deberán medir y/o contar 200 ejemplares de forma similar.

Si una bodega contiene una mezcla de ejemplares grandes y pequeños, se deberá medir un total de 300 peces y/o contarse (incluyendo todas las especies) en la primera etapa. Si se trata de listado, melva o bacoreta, se deberán medir los 25 primeros ejemplares de cada especie, y el resto se cuenta. En el caso de patudo, rabil o atún blanco, se medirán todas las especies hasta alcanzar el número recomendado. En la segunda etapa, se deberán medir y/o contar 200 ejemplares de forma similar. Se ha de saber el peso de los peces de ambas categorías (peces de un peso superior o inferior a 10 kg) que hay en la bodega.

El muestreo de los barcos de cebo puede hacerse igual que el de los cerqueros. La unidad de muestreo en este caso es todo el barco en lugar de una sola bodega. Por lo general se hará un único muestreo, a menos que el barco sea grande, en cuyo caso se podrán tomar dos muestras. Cuando la captura se selecciona por talla, especie o categoría comercial antes de la descarga, o si está accesible para los muestreadores, se hará el muestreo de una parte de los peces. El resultado será un muestreo aleatorio de todas las categorías presentes. El número de categorías en las que se divida la captura determina el número de muestras. Se debe anotar el peso de cada categoría.

Como ejemplo: el pez fresco (de los últimos lances) de una parte del barco puede ser descargado y el procedente de la otra parte, congelado. Por lo tanto se deberán realizar dos muestreos, uno del pez fresco y otro del congelado. También en este caso se deberá anotar el peso de ambos.

Las capturas de varios barcos podrían estar mezcladas, por ejemplo cuando los barcos de cebo trasbordan a los cerqueros o barcos mercantes. En estos casos no se dispone de información sobre la zona ni el tipo de pesca. Por ello, se llevará a cabo un muestreo único de todo el barco.

- Peces almacenados en contenedores

Cuando los desembarques han sido almacenados en algún tipo de contenedor, por ejemplo, en cajas, esos mismos contenedores han de ser sometidos a muestreo. Un muestreo aleatorio basado en filas o zonas de almacenamiento, es relativamente fácil de organizar recurriendo a números al azar para pasar al siguiente contenedor y efectuar mediciones. Los contenedores muy grandes tendrían tal vez que ser muestreados a su vez en bulto (véase más arriba), creando así una etapa extra en un sistema de muestreo de varias etapas (apartado 4.2.2). Estos peces así almacenados pueden estar congelados, eviscerados, sin cabeza, etc. Su estado ha de ser consignado y se aplicarán los factores de conversión adecuados para estimar la condición del pez cuando estaba vivo. Los factores de conversión que podrían resultar útiles en las estadísticas de túnidos figuran en el **Apéndice 4**.

- Peces clasificados por categoría

Los peces clasificados por categorías de talla o grados de frescor estarán probablemente almacenados de la misma manera. Los contenedores deberán muestrearse tal como se describe anteriormente. Una muestra que omita una o más categorías evidentemente contiene un importante sesgo potencial, por lo que se debe establecer de antemano la disponibilidad de todas las categorías antes de iniciar las observaciones. Además, los pesos totales o volúmenes de cada categoría en los desembarques han de ser un factor conocido con el fin de que los resultados de cada una puedan ser ponderados de forma adecuada en una estimación del desembarque en su totalidad.

- Pesquerías artesanales

El muestreo de capturas de las pesquerías artesanales tendrá lugar sobre todo en el lugar del desembarque o en el mercado. El muestreo en el mercado limitará por lo general la precisión de la información sobre el lugar de la pesca, pero las pesquerías artesanales no suelen faenar demasiado lejos de la costa. Se puede entrevistar a los pescadores para obtener la información deseada sobre las técnicas de pesca y los lugares de

la misma. El muestreo físico de las capturas artesanales requerirá tan sólo una modificación de los formularios de muestreo antes descritos. La unidad de muestreo estará a escala del barco.

- Pesquerías con captura y liberación (deportivas)

Las pesquerías en las que se produce captura y liberación son una fuente adicional de información sobre tasa de capturas que puede resultar importante en algunos países. Los métodos para recoger esta información se describen en Guthrie *et al.*, (1991). El muestreo biológico de estas pesquerías deportivas puede ocurrir tan sólo, por definición, a bordo del barco. En consecuencia, el muestreo se ajustará al descrito para observadores (véase más adelante). Sin embargo, se debe señalar que puesto que las muestras se devuelven a la mar y la mortalidad es casi inexistente, existe el peligro, pequeño pero real, de muestrear un ejemplar por dos veces en el caso de que éste sea de nuevo capturado en una pesquería comercial. Se recomienda utilizar las pesquerías deportivas para el marcado y otros estudios biológicos (apartados 4.5 y 4.7).

Una vez obtenida la muestra, de la forma más aleatoria posible, la siguiente tarea suele ser estimar las características biológicas de interés. Una distribución de frecuencia de tallas (LFD) es por lo general la primera prioridad para cada especie (apartado 4.3.1). El número de peces que deberían medirse depende de cuantas modas (picos) están presentes en el LFD. En el caso de tallas pequeñas, éstas representarán probablemente clases anuales sucesivas, aunque la selectividad del arte y/o modalidad de pesca afectará sus frecuencias relativas. Se ha de medir un número suficiente de peces para definir todas las modas presentes. En la práctica, esto significa continuar midiendo hasta que las modas queden identificadas, y después medir por ejemplo una tercera parte extra de la muestra para ver si aparecen modas adicionales. Una definición clara de todas las modas resulta de gran utilidad para distinguir diferentes clases de edad. Cuando se ve con claridad que sólo hay una o dos modas, podría bastar una muestra pequeña, por ejemplo de 50 peces. Cuando hay muchas modas, será posiblemente necesario medir 300 ó más peces. El ajustar el tamaño de la muestra de este modo, de acuerdo con los resultados obtenidos, requiere que la muestra aleatoria inicial debe contener peces en exceso y que la mezcla sea homogénea. Como alternativa, se pueden obtener muestras adicionales de peces en los desembarques siguiendo el mismo procedimiento utilizado en la selección de la muestra inicial.

Algunas características biológicas varían según la talla del pez. Hay tres opciones para estimar la relación:

1. Estimar las características de todos los peces en la muestra original.
2. Extraer una submuestra de peces de cada conjunto de clases de talla y estimar las características tan solo de estos peces<sup>3</sup>.
3. Extraer una submuestra sin tener en cuenta la talla y ajustar un modelo.

La opción (1) proporciona la muestra de mayor tamaño pero tiene que haber tiempo e instalaciones para procesar cada uno de los peces. También, las tallas más frecuentes podrían experimentar un muestreo relativamente excesivo. Para el análisis estadísticos de las opciones (1) y (2) en relación con la estimación de la composición por edad consultar Smith, 1989.

Las opciones (2) y (3) son adecuadas cuando el submuestreo es restringido. La opción (2) se aplica con frecuencia para desarrollar claves talla-edad (apartado 4.3.6 y Westrheim y Ricker, 1978; Lai, 1993) usando partes duras con marcas anuales (apartado 4.8). También podría servir para estimar la madurez o el peso por talla. Las submuestras deberán seleccionarse al azar en cada clase de tallas, pero en la práctica y siempre que la característica que se quiere estimar no sea visible y no inflencie a quien realiza el muestreo (por ej. ese sería el caso de la edad y la madurez), los primeros peces que están a mano de cada una de las clases de talla son adecuados para la muestra. El tomar un número fijo de peces en la submuestra de cada clase de talla es algo relativamente fácil de llevar a cabo, aunque tal vez no sea la práctica más eficaz (Kimura, 1977; Lai, 1993). Con la opción (2) se estima una proporción por talla separada o media por talla de cada una de las clases de talla. No existe un modelo ni tampoco un supuesto principal pero el gran número de valores a estimar podría ser causa de que la precisión en el muestreo sea baja, en particular si los tamaños de la submuestra son pequeños. El doble muestreo que implica este procedimiento complica el análisis estadístico para estimar los errores estándar.

La opción (3) requiere que se tenga cuidado para asegurar que la elección de peces de la submuestra no se vea influenciada por su talla. El ajuste de un modelo podría requerir la estimación de menos parámetros que la estimación de valores medios para muchas clases de talla (opción 2) y por consiguiente, la estimación podrá hacerse con mayor precisión. Los inconvenientes son que se tiene que asumir un modelo y que los grupos de tallas raras estarán probablemente poco representados en la submuestra.

<sup>3</sup> Thompson (1992, p143) se refiere a esto como “muestreo doble para estratificación”.

## Observadores

Los observadores que se encuentran a bordo de los pesqueros pueden facilitar cantidad de datos de gran calidad sobre todas o la mayor parte de las especies retenidas a bordo y las descartadas, el esfuerzo de pesca, los métodos de pesca, estrategias y, en algunos casos, las características biológicas, tales como las distribuciones de frecuencias de talla (apartado 4.10). Pueden también fomentar una buena comunicación entre los científicos y la industria. Los observadores pueden o no desempeñar un papel en la aplicación de regulaciones en la pesquería. En el aspecto puramente científico es mejor que no, con el fin de que los capitanes puedan pescar con normalidad, sin temor a ser sancionados. Los observadores pueden o no tener derecho a embarcar en cualquier pesquero. Si no lo consiguen, los barcos que pueden estar sujetos a observación se limitarían a aquellos cuyos capitanes y propietarios estén de acuerdo en colaborar, y esto podría ser causa de sesgo. Los programas de observadores suelen ser caros, ya que éstos han de tener un entrenamiento científico y pasar mucho tiempo en la mar. Los observadores deberán ser supervisados, al menos en su primera marea, para asegurarse de que son capaces de identificar las especies y de llevar a cabo un muestreo biológico adecuado. También han de estar entrenados en cuestiones de seguridad en la mar y concretamente en lo referente a la seguridad en la pesca (Luo *et al.*, 1999).

En algunas pesquerías es obligatorio llevar un observador a bordo de todos los barcos. Pero lo más corriente, es que los observadores escojan los barcos y las mareas en las que van a embarcar para obtener la mayor cantidad posible de información sobre la pesca y los stocks. La “población de interés” (apartado 4.2.1) se define mejor en término de la flota de pesqueros. Para definirla como el stock de peces se deberían seleccionar las mareas de forma que en las diferentes zonas geográficas ocupadas por el stock se llevase a cabo un muestreo equivalente, lo cual es una tarea difícil si la flota se centra en ciertas partes del stock, si los barcos cambian su zona de pesca en el curso de una marea, o bien si se emplean diferentes artes en diferentes zonas, lo cual provoca una confusión entre el arte y las influencias geográficas. Otra complicación es que las mareas con observadores que ha de realizar un barco no se suelen conocer de antemano, debido a interferencias por el mal tiempo, problemas mecánicos, pocas perspectivas de pesca, etc. Las encuestas de observadores son necesariamente jerárquicas porque los lances (capturas) están insertos en las mareas y en los barcos, pero dificultades de tipo logístico podrían impedir la implementación de un sistema de muestreo por etapas.

Uno de los primeros requisitos en un programa de muestreo con observadores es una lista de todos los barcos en la flota pesquera en cuestión. Si es necesario, se debería hacer un esfuerzo especial de investigación para obtener dicha lista, que se actualizará antes de cada período de muestreo para tener en cuenta los cambios en la flota.

En segundo lugar, se debe obtener información acerca del tipo, potencia y tamaño de los barcos, su historial en cuestión de actividades, desembarques o capturas. Esta información se estudiará para decidir si existe suficiente información fiable para aplicar un sistema de muestreo estratificado o de probabilidad proporcional al tamaño, basado en un dato sobre la potencia pesquera de cada barco. Una encuesta de este tipo resultaría más eficaz que un simple muestreo aleatorio, aunque sólo si la información resulta útil para predecir el funcionamiento, en particular para el siguiente período de muestreo.

En tercer lugar, se ha de decidir acerca de si se va a someter a observación una muestra de barcos (unidad principal de muestreo) con varias mareas (unidad secundaria de muestreo) en cada uno durante el período de muestreo, o si se va a intentar someter a observación algunas de las mareas de la flota elegidas al azar. Lo primero sería un sistema en dos etapas que permite la estimación de la varianza entre mareas y al propio tiempo entre barcos; lo segundo es un simple muestreo aleatorio por marea. En el caso de flotas grandes y diversas y un número relativamente escaso de observadores, la mejor opción será probablemente el simple muestreo aleatorio, porque la variación entre mareas en diferentes barcos será probablemente más importante que la que se da entre mareas en el mismo barco; por ello es de desear realizar observaciones del mayor número de barcos que sea posible. Si se cuenta con un número suficiente de observadores para realizar repetidas observaciones de barcos durante un período de muestreo, o bien si sólo se puede observar un número limitado de barcos de la flota, se obtendrá más información muestreando barcos y mareas, si se hace por medio de un sistema en dos etapas y si se observan todas las principales unidades de muestreo en más de una marea.

Se puede organizar un muestreo aleatorio simple de mareas, numerando todos los barcos en la flota del 1 al  $V$ . El uso de números aleatorios de 1 a  $V$ , extrae barcos de la lista “con sustitución”, es decir, el mismo barco puede aparecer más de una vez en la extracción. Los observadores intentan organizar sus mareas en los diversos barcos por orden de extracción. Las estimaciones realizadas por área se pueden así tratar como observaciones independientes de las actividades pesqueras de la flota, ya que cada marea ha sido seleccionada y observada de forma independiente. Las medias y las varianzas se calculan partiendo de las estimaciones hechas por marea,

usando las fórmulas para el muestreo aleatorio simple sin sustitución, porque, si bien los barcos se seleccionan con sustitución, ninguna marea se somete a muestreo más de una vez. Este sistema de muestreo podría ser criticado si se sabe que algunos barcos pasan muchos más días en la mar que otros durante el periodo de muestreo. En ese caso, se puede aplicar un sistema mucho más elaborado, por ejemplo, la probabilidad proporcional al tamaño o la estratificación basada en la actividad. Se puede organizar un muestreo en dos etapas igual que un muestreo aleatorio simple, pero se extraería un menor número de barcos y se observarían más mareas en cada uno de ellos. En la medida de lo posible, es más aconsejable establecer las fechas de las mareas al azar.

Un tipo de muestreo intuitivo de mareas es ir a los puertos pesqueros en días escogidos al azar en el curso del periodo de muestreo y escoger el primer barco que salga a la mar. Este sistema podría favorecer a los barcos que pasan más tiempo en puerto y, posiblemente, también a aquellos mejor acondicionados para los observadores. No se recomienda.

Una vez a bordo, el observador recopilará información sobre el barco y la actividad pesquera y prestará especial atención a los datos que no pueden ser estimados de otra forma, tales como la estimación de descartes y la identificación y medición de las especies secundarias. Respecto a las especies objetivo, los observadores deberán muestrear el mayor número de capturas posible (sin correr riesgos debidos al cansancio). Los peces retenidos y los descartados se registrarán por separado.

Si solo se pueden muestrear subconjuntos de capturas, se hará a diferentes horas del día y se intentará incluir peces de cada uno de los caladeros visitados. Cada una de las capturas puede ser muestreada, en cuyo caso se debe también estimar un factor para extrapolar la muestra a la captura total. Esto se puede conseguir partiendo de volúmenes relativos o por tiempos relativos en una cinta transportadora, etc. El muestreo de la captura se hará con los procedimientos anteriormente descritos para el muestreo de desembarques. El observador deberá registrar el esfuerzo de pesca de cada lance, incluyendo los que no han sido muestreados; otra opción, menos satisfactoria, es contar al menos los lances no muestreados, dato que se puede obtener de los cuadernos de pesca. Los resultados de las capturas muestreadas pueden después extrapolarse para estimar los resultados de todas las capturas obtenidas en el curso de la marea.

#### 4.2.5 Problemas potenciales en las estadísticas de captura total anual

La **Tabla 4.2.1** presenta los problemas típicos relacionados con la recogida de estadísticas de la Tarea I en el marco de ICCAT y posibles soluciones.

**Tabla 4.2.1.** Problemas relacionados con la recogida de estadísticas de la Tarea 1.

<i>Problemas</i>	<i>Ejemplos</i>	<i>Soluciones</i>
<i>Desglose por especies</i>		
1. Especies informadas juntas. Tienen el mismo precio por unidad de peso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesquerías de las islas portuguesas.</li> <li>- Pesquerías de superficie del Atl. tropical oriental. (Flota de Francia, Côte d'Ivoire/Senegal, Japón, Corea, E.S., etc.</li> <li>- Pesquería de cerco ex-soviética (todos los túnidos combinados)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motivar, educar, instruir y/o obligar a los pescadores a comunicar la captura por especies.</li> <li>- Realizar muestreo y examinar la composición por especies de la muestra para estimar la composición por especies de la captura.</li> </ul>
2. Identificación errónea o especies que no pueden identificarse. Falta de una clave de identificación sencilla y clara.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rabil joven vs. patudo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hallar una sencilla clave e informar a los pescadores.</li> <li>- Realizar muestreo para estimar la composición total por especies.</li> </ul>
3. Confusión en los nombres vernáculos locales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombres españoles para el atún blanco (bonito), rabil (atún).</li> <li>- Nombres coreanos y japoneses para marlines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los biólogos se involucran en el centro estadístico para que las personas responsables de las estadísticas conozcan los problemas e identifiquen</li> </ul>

	(aguja negra llamada localmente aguja blanca, aguja azul llamada aguja negra). - Nombres portugueses para tú-nidos (atún blanco, patudo clasificados por talla pero no por especie)	correctamente las especies comunicadas bajo sus nombres locales. - Entrenar al personal local de estadísticas y a los pescadores para que empleen los nombres correctos en los informes.
4. Grupos de especies informadas juntas. No hay una columna en los formularios para consignar ciertas especies.	- Muchos países cuyas pesquerías de túnidos tienen escasa importancia o donde una de las especies de túnidos tiene menos importancia que otra.	- Añadir una columna en el formulario para consignar las especies en cuestión.
<b>Cobertura inadecuada</b>		
1. Faltan desembarques de algunos puertos. El sistema de encuesta no los cubre.	- Muchos países	- Ampliar el sistema de encuestas. - Visitar en ocasiones dichos puertos para hacer estimaciones de desembarques.
2. Faltan ciertas flotas (probablemente muy locales).	- Muchos países	- Extrapolar capturas al 100% de cobertura usando la proporción de no. de barcos cubiertos en relación con los no cubiertos.
3. No están cubiertos los desembarques en puertos extranjeros.	- Flotas panameñas	- Obligar por ley a los capitanes a informar las capturas.
4. La captura se destinó al consumo familiar o no se vendió en mercados.	- Casi todos los países	- Hacer una encuesta de muestreo para estimar el volumen. Hace
5. La captura se vende en el mercado local.		- Hacer una encuesta por medio de personal no gubernamental con el fin de realizar estimaciones.
6. La captura se clasifica y se informa mezclada con especies otras que los túnidos.	- Muchos países del Mediterráneo, África, Sudamérica y Mar Caribe.	- Establecer un sistema (y formato) para informar sobre túnidos. - Muestreo de especies mixtas.
7. La captura se transborda en la mar de un pesquero a otro o bien a un carguero de la misma bandera o de otra.	- EE.UU. España, Japón, etc.	- Obligar a los capitanes a informar las capturas sin tener en cuenta desembarque o transbordo. - Comprobar informes puertos de desembarque (p.ej. Puerto Rico) respecto a carga y transbordos extranjeros.
8. La captura se desembarca en una zona de aduanas y desde allí se exporta a un país extranjero (con frecuencia ya enlatada).	- Muchos puertos africanos - Barcos de bandera extranjera que desembarcan en las Islas Canarias	- Comprobar desembarques en zonas de aduanas (no usar las estadísticas de paso de aduanas).
9. La captura se procesa en el buque nodriza y se desembarca ya enlatada.	- Japón, antigua Unión Soviética.	- Obligar a los capitanes a informar las capturas en lugar de usar las estadísticas de desembarques.
<b>Banderas</b>		
1. Información duplicada por país de bandera, país que concede las licencias a los barcos, importador de la captura y/o país donde se transbordan los peces.	- Flotas de Corea, Panamá, Japón, Ghana, etc. que desembarcan en puertos africanos.	- Las personas implicadas deben hacerse cargo del problema. - Cada uno de los países involucrados deben informar las capturas por bandera. - La Secretaría verifica el flujo de peces y flotas.

2. Sin información respecto a barcos que implican diferentes nacionalidades de propietarios, operadores, tripulación, inversores, quienes conceden licencias, registro, etc.	- Barcos de bandera panameña.	- Los gobiernos de los operadores de barcos podrían fomentar o solicitar que los barcos de bandera extranjera informen las capturas (éstas deben informarse separadamente, por bandera, para evitar confusiones)
--	-------------------------------	--

#### 4.2.6 Estimación y extrapolación

##### *Estimación de la población observable*

La estimación de las medias, totales y varianzas por medio de muestreo de cuadernos de pesca, desembarques o salidas a la pesca, realizado por observadores, se puede llevar a cabo con las fórmulas estándar de estimación adecuadas para el sistema de muestreo aplicado para extraer las muestras. En el apartado 4.2.2 figuran ejemplos de sistema de muestreo estadístico que corresponden a los de los libros de texto. Las estadísticas estimadas se aplican entonces a la población observable (apartado 4.2.1) sin extrapolación adicional. Si se aplican formulas inadecuadas, por ejemplo, formulas de muestreo aleatorio simple para una probabilidad proporcional al tamaño de la muestra, existe el riesgo de que los resultados estén sesgados. A continuación se dan cuatro ejemplos para esclarecer estas manifestaciones en el marco de las pesquerías:

1. Se establece el supuesto que los desembarques  $n$  se muestrean de forma más o menos aleatoria (muestreo aleatorio simple sin sustitución) partiendo de  $N$  de la flota durante un trimestre del año, y se estima el número total de peces,  $y$ , y las distribuciones de frecuencias de talla para cada uno de los desembarques observados. La media por desembarque es  $\bar{y} = \sum y/n$  y el número total estimado desembarcado por la flota es  $Y = \bar{y}N$  (Thompson, 1992, ec. 8, capítulo 2). El factor de extrapolación es pues  $N/n$ . También se puede usar para extrapolar a LFD si es necesario.
2. Se supone que en el curso de un año las salidas a pescar  $n$  realizadas llevaban observadores a bordo, y que las mareas fueron seleccionadas sin sustitución partiendo de  $N$  de la flota, por lo que cada una de dichas mareas tenía aproximadamente la misma oportunidad de ser sometida a observación. El factor de extrapolación es  $N/n$ .
3. En contraposición con 2), se supone una encuesta con observadores en la cual un número  $v$  de barcos ha sido seleccionado al azar sin sustitución partiendo de  $V$  en la flota, y tan sólo se observó una marea elegida al azar de cada uno de ellos. En primer lugar, el total capturado durante el año por cada uno de los barcos observados se estima extrapolando la cantidad observada en la marea por medio del número anual de mareas realizadas por dicho barco. A continuación, el total obtenido por la flota se estima extrapolando los totales anuales de barcos por medio de  $V/v$ .
4. Una encuesta de cuadernos de pesca en la cual no se hayan podido cubrir todos los barcos, se puede tratar como en el ejemplo 3). Los resultados anuales para los barcos  $v$  cubiertos deben tomarse directamente de los cuadernos. Se deberían extrapolar por  $V/v$  para tener en cuenta los barcos que faltan.

Se podría decir que los estimadores aplicables a sistemas de muestreo estándar sin supuestos no son la forma más precisa de estimar la población observable cuando se dispone de buena información auxiliar. La información auxiliar se incluye en la estimación a través del modelado usando bien un estimador de ratio o un estimador de regresión (Thompson, 1992, capítulos 7 y 8). Ambos están ligeramente sesgados en cuanto a diseño, pero no en cuanto al modelo.

Respecto al ejemplo 1), se puede suponer que el tonelaje total,  $W$ , desembarcado por la flota es un factor conocido. Se puede argumentar que los tonelajes relativos,  $w$ , de los desembarques correspondientes a la muestra de  $n$  y los de toda la flota dan un factor de extrapolación más preciso que el número de desembarques, porque aportan más información sobre las actividades de la flota. Una ratio, más que un estimador de regresión, es apropiada si cero en números desembarcados equivale siempre a cero toneladas, y los números desembarcados

positivos son proporcionales al tonelaje. El ratio de estimación de los números totales desembarcados es  $Y_{\text{ratio}} = W \cdot \sum y / \sum w$ . El factor de extrapolación es  $W / \sum w$ .

Respecto al ejemplo 2), un factor de extrapolación basado en las cantidades de peces desembarcados por la flota y retenidas en las mareas  $n$  observadas podría considerarse más preciso que uno basado en números relativos de mareas. Sin embargo, la extrapolación por desembarque presenta sus propios problemas:

- Si la especie no fue desembarcada no hay un factor de extrapolación, a menos que se use una composición multiespecífica.
- Si las cantidades retenidas a bordo en las mareas observadas eran pequeñas el factor de extrapolación será muy poco preciso debido al pequeño divisor.
- Si las cantidades desembarcadas figuran en peso y los peces retenidos figuran en números, se deberá aplicar una conversión lo cual podría contribuir al error.
- Si se supone que los desembarques en sí mismos contienen error, los datos de observadores quedarán contaminados con ese mismo error.

El extrapolar por medio del esfuerzo de pesca relativo será con frecuencia preferible para las mareas observadas, siempre que se cuente con los datos adecuados. Los datos extrapolados serán así independientes de los datos de desembarque lo que puede ser importante para modelar el stock de peces usando ambos tipos de datos.

Respecto al ejemplo 3), el esfuerzo relativo podría usarse para sustituir el número total de mareas en la estimación del total anual por barco, mientras que la potencia de las máquinas puede usarse en lugar de  $V/v$ .

Para el ejemplo 4) del cuaderno de pesca, el factor de extrapolación basado en número de barcos cubiertos y en el total de flota no usa información sobre la potencia pesquera de los diferentes barcos y podría ser mejorado. Otros estimadores podrían basarse en la potencia de las máquinas, TRB, días en la mar u otra medida del esfuerzo, o bien en cantidades de una o más especies desembarcadas por barco o por el total de la flota. La elección dependerá a menudo de la información disponible o de si la misma información se está usando de forma asociada en un análisis de stock de pesquería.

Cualquier estimación y fórmula de extrapolación que se usa en las estimaciones, debe estar bien documentada en los "Procedimientos Operativos Estándar" (POE) para el programa de muestreo.

#### *Estimación de la población de interés*

Tal como se dice en el apartado 4.2.1, la población observable será probablemente un subconjunto de la población de interés en muchas de las situaciones prácticas asociadas con las pesquerías oceánicas y se ha de asumir una relación entre las dos (que ha de quedar documentada en un SOP). La relación podría ser un simple factor de extrapolación o bien algo más elaborado, pero, en ambos casos, la estimación es simplemente un ejercicio de modelado que no incluye una teoría de diseño de muestreo. Los modelos deben ser revisados siempre que se disponga de información nueva.

Un problema de extrapolación, común pero no relacionado directamente con la extrapolación, surge cuando la población observable constituye el todo o parte de una flota pesquera pero la población de interés es el stock de peces en una región geográfica en un determinado período de tiempo, por ejemplo "un estrato espacio-temporal". Se plantean dos cuestiones:

1. ¿Pescó la flota en el estrato espacio-temporal con el fin de facilitar una muestra satisfactoria del stock allí presente?
2. ¿Se aplicó parte del esfuerzo de pesca fuera del estrato?

Respecto a la cuestión 1) se requiere un análisis de los tipos de pesca y de los artes de pesca empleados. Si la flota distribuyó el esfuerzo con bastante uniformidad en todo el estrato, y empleó un arte de pesca similar, en ese caso la muestra obtenida era buena. Sin embargo, es más plausible que parte de la flota se centrara en lugares diferentes y relativamente pequeños y que emplease diferentes artes con selectividades también diferentes. También podrían haberse producido cambios estacionales en los tipos de pesca. Las opciones para tratar esos problemas incluyen:

- Un modelo para estimar los efectos del muestreo no uniforme (Campbell, 2004). Vale la pena considerar un método bayesiano porque las distribuciones previas para parámetros importantes aplicados en el modelo pueden ser ajustadas para que reflejen la incertidumbre respecto a sus valores.
- Subponderar los resultados de localidades pequeñas que han sido muy explotadas con el fin de que no dominen en las estimaciones para el estrato espacio-temporal.
- Suplir los datos que faltan de subzonas o subperiodos con datos de anteriores periodos o de estratos vecinos.
- Ignorar todas las irregularidades y actuar como si se tratara de una muestra aleatoria.

Todas las opciones encierran un alto riesgo de sesgo. Además, el sesgo podría a su vez seguir una tendencia en el tiempo lo que tendría como resultado una distorsión de la serie temporal. Otro peligro es que los datos referentes a ciertas localidades útiles se emplearán más de una vez, lo cual provocará dependencia entre los resultados y posiblemente potenciará los efectos de los errores. La solución elegida así como las razones para hacerlo deberá estar bien documentada en un POE o en cualquier informe sobre el procedimiento de estimación.

La cuestión 2) suele ser más sencilla de tratar. La mejor solución es disgregar los datos de las mareas convirtiéndolos en datos de lances individuales que pueden ser asignados al estrato correcto. Una solución más rápida es estimar, para cada marea, la proporción del esfuerzo aplicado dentro de cada estrato.

#### **Cálculo de la fracción del peso total de un lance representado por un muestreo**

Como se indica en el apartado dedicado al muestreo de capturas de especies múltiples, la unidad de muestreo asignada debería ser representativa del lance. Si el producto de un lance se vierte en dos o más bodegas de un cerquero, se debe calcular la proporción que el peso contenido en cada una de las bodegas representa respecto al total de captura de dicho lance. Esto es una captura ponderada (Sarralde et al., 2005).

La proporción de captura que ha sido muestreada no puede calcularse hasta que el barco haya finalizado la descarga, puesto que el producto de ese lance está repartido en varias bodegas y por lo tanto puede haber sido muestreado más de una vez.

La ponderación de la captura de cada lance, definida por la fecha de la pesca y el número de lances, puede calcularse como sigue:

$$Ponderacion = \frac{W1}{W2} * TW$$

donde W1 es el peso del lance o lances en la bodega, W2 es el peso del lance o lances de todas las bodegas sometidas a muestreo, y TW es el peso total del lance o lances.

Por ejemplo: en un lance un barco pesca 90 t que se han almacenado en tres bodegas. 40 t en la bodega 1, 30 t en la bodega 2 y 20 t en la bodega 3. Las bodegas 2 y 3 han sido muestreadas.

Para la bodega 2, la ponderación es:  $(30/50)*90 = 54$  t.

Para la bodega 3, la ponderación es:  $(20/50)*90 = 36$  t.

$54+36=90$ .

Si el lance se ha muestreado una sola vez (bien porque todo el contenido se ha vertido en una bodega o repartido en otras bodegas no muestreadas), la captura ponderada sería igual a la captura total del lance (ponderación = TW). Las muestras se pueden entonces extrapolar a la captura total del lance empleando esta ponderación.

#### **4.2.7 Bibliografía**

BEARE, D., J. Castro, J. Cotter, O. van Keeken, L. Kell, A. Laurec, J.C. Mahé, S. Munich-Peterson, J.R. Nelson, G. Piet, J. Simmonds, D. Skagen and P.J. Sparre (2002). Evaluation of research surveys in relation to management advice (EVARES). Final report of FISH/2001/02-Lot 1, DGXIV Fisheries, European Commission, Brussels. Available from [a.j.cotter@cefas.co.uk](mailto:a.j.cotter@cefas.co.uk).

- BOHRNSTEDT, G.W. and A.S. Goldberger (1969). On the exact covariance of products of random variables. *Journal of the American Statistical Association* 64: 1439-1442.
- CAMPBELL, R.A. (2004). CPUE standardisation and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models. *Fish. Res.* 70(2-3): 209-227.
- COCHRAN, W.G. (1977). *Sampling techniques*. New York, J. Wiley & Sons, Inc.
- COTTER, A.J.R., G.P. Course, S.T. Buckland, C. Garrod (2002). APPS sample survey of English fishing vessels to estimate discarding and retention of North Sea cod, haddock, and whiting. *Fish. Res.* 55: 25-35.
- LUO, Z.-j, T. Tanaka, F. Kimura, M. Miyasaka, G.P. Course, A.J.R. Cotter, R.O. Jolliffe, B.J. Kay, M.S. Rolfe (1999). Safe practices for sampling commercial trawler catches at sea. *Fish. Res.* 41: 99-104.
- DAVISON, A.C. and D.V. Hinkley (1997). *Bootstrap methods and their application*. Cambridge University Press, Cambridge UK
- EFRON, B. and R.J. Tibshirani (1993). *An introduction to the bootstrap*. London, Chapman & Hall
- GAERTNER, D., P. Pallarés, J. Ariz, A. Delgado de Molina, and V. Nordström-Fonteneau (2000). Estimación de la durée des calées chez les senneurs français et espagnols opérant dans l'océan Atlantique, à partir des observations scientifiques du programme européen sur le patudo (1997-1999). *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51(1): 402-415
- GAERTNER, D., R. Pianet, J. Ariz, A. Delgado de Molina and P. Pallarés (2003). Estimates of incidental catches of billfishes taken by the European tuna purse seine fishery in the Atlantic Ocean (1991-2000). *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 55(2): 502-510.
- GOODMAN, L.A. (1960). On the exact variance of products. *Journal of the American Statistical Association* 55: 708-713.
- GOODMAN, L.A. (1962). The variance of the product of K random variables. *Journal of the American Statistical Association* 57: 54-60.
- GUTHRIE, D., J.M. Hoening, M. Holliday, C.M. Jones, M.J. Mills, S.A. Moberly, K.H. Pollock, and D.R. Talhelm (eds.) (1991). *Creel and Angler Surveys in Fisheries Management*. American Fisheries Society Symposium 12.
- HILBORN, R. and C. Walters (1992). *Quantitative Fisheries Stock Assessment-Choice, Dynamics and Uncertainty*, Kluwer Academic Publishers, Boston. 570.
- KENDALL, M.A. (1976). *Time-series*. London, Charles Griffin and Co. Ltd. 197.
- KIMURA, D.K. (1977). Statistical assessment of the age-length key. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 317-324.
- LAI, H.-L. (1993). Optimal sampling design for using the age-length key to estimate age composition of a fish population. *Fish. Bull.* 92: 382-388.
- PALLARÉS, P. and P. Dewals (1998). Análisis de los datos obtenidos en una experiencia de muestreo intensivo de una cuba durante el desembarco. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 48(2): 213-220.
- PALLARÉS, P. and Ch. Petit (1998). Tropical tunas: new sampling scheme and data processing strategy for estimating the composition of catches by species and sizes. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 48(2): 230-246.
- PALLARÉS, P., A. Delgado de Molina, J. Ariz and J.C. Santana (2000). Revisión de las estadísticas españolas de túnidos tropicales (1991-1996), teniendo en cuenta el tipo de asociación de las pescas. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51(1): 378-386.
- PINHEIRO, J. C. and D. M. Bates (2000). *Mixed-effects models in S and S-plus*. New York, Springer. 528.
- RAJ, D. (1968). *Sampling theory*. New York, McGraw-Hill.
- ROSE, G.A. and D.W. Kulka (1999). Hyperaggregation of fish and fisheries: how catch-per-unit-effort increased as the northern cod (*Gadus morhua*) declined. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56(Suppl. 1): 118-127.

- SARRALDE, R., A. Delgado de Molina, J. Ariz, J.C. Santana, P. Pallarés, R. Pianet, P. Dewals, A. Herve, R. Dedo and J.J. Areso (2005). Port sampling procedures for tropical tuna in the Atlantic and Indian Oceans. SCRS/2005/101.
- SMITH, P.J. (1989). Is two-phase sampling really better for estimating age composition? *Journal of the American Statistical Association* 84: 916-921.
- SUKHATME, P.V. and B.V. Sukhatme (1970). *Sampling theory of surveys with applications*. Ames, Iowa, USA, Iowa State University Press.
- SWAIN, D.P. and A.F. Sinclair (1994). Fish distribution and catchability: what is the appropriate measure of distributions? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1046-1054.
- THOMPSON, S. K. (1992). *Sampling*, John Wiley & Sons, Inc. 343.
- WESTRHEIM, S.J. and W.E. Ricker (1978). Bias in using an age-length key to estimate age-frequency distributions. *J. Fish. Res. Board Can.* 35(2): 184-189.

### 4.3 Estimación de la captura por edad

La mayoría de las evaluaciones analíticas del stock emplean modelos basados en la edad. Los datos de edad obtenidos por lectura de partes duras (apartado 4.9) destinados a estos modelos son por lo general limitados debido al coste y complejidad para obtener y leer dichas estructuras. En contraste, los datos de captura por talla son más cuantiosos ya que la recopilación de información sobre talla es relativamente barata. La talla facilita también algo de información sobre la estructura de edad de la población, ya que la edad y la talla están relacionadas. Sin embargo, sigue siendo necesario convertir la captura por talla en captura por edad. Para hacerlo existen varios métodos.

Este apartado detalla formas de recopilar datos de frecuencias de talla adecuados a los objetivos de ICCAT (apartados 4.3.1 a 4.3.4). Los métodos de convertir captura por talla en captura por edad se detallan en los apartados 4.3.5 a 4.3.9.

#### 4.3.1 Muestreo para obtener datos de frecuencias de talla

Como se indica en el apartado 4.2.4 la información biológica, así como la talla, se pueden obtener en varios lugares:

##### *En la mar*

El lugar ideal para medir peces es en la mar, a bordo de un pesquero. Si el muestreo puede hacerse en el momento de la captura, toda la información asociada (lugar, fecha, si la muestra procede de un solo cardumen) puede registrarse con precisión. Este puede ser el único método de obtener información precisa biológica y sobre la captura, de túnidos destinados a la cría. Estos ejemplares se crían en grandes jaulas antes de su exportación, y por tanto es poco probable que vayan acompañados de información sobre el lugar de su captura si no se han hecho observaciones en la mar. Véase el apartado 4.10 para más detalles.

##### *Durante la descarga en los puertos*

Si se adopta este método es imprescindible que los muestreadores tengan acceso al cuaderno de pesca y/o de máquinas del barco, para poder identificar el origen exacto del pescado del que se toma la muestra. Incluso con esta información, la identificación del lugar exacto de la captura podría resultar imposible de identificar, aunque en el caso de las grandes capturas de los barcos de pesca de superficie, tales como los cerqueros, los peces almacenados en una bodega podrían proceder de un cardumen único o bien de varios, pero dentro de la misma zona y en un corto periodo de tiempo. En cuanto a las capturas del palangre, resulta especialmente difícil, ya que la bodega podría contener peces procedentes de una amplia zona y correspondientes a un largo periodo de tiempo. En el caso de una pesquería artesanal costera, esto puede no ser necesario ya que la mayor parte de las capturas tienen lugar el mismo día y en una zona muy próxima al lugar del desembarque. Los muestreos pueden tener lugar: en la bodega de un pesquero; en la cubierta de un pesquero; en el muelle (o playa) cuando se descarga la pesca; en los vehículos (o carros) que transportan el pescado; en el mercado cuando se expone el pescado para su subasta o venta. El muestreo efectuado en el momento de la descarga resulta, en general, más económico, dado que una sola persona destacada en un puerto puede abarcar todos los barcos que entren en él. Además, los peces se miden con mayor facilidad y se obtiene información adicional sobre lugar, fecha, arte, etc., de la captura.

##### *Al transbordar el pescado de un pesquero a un carguero*

Con el fin de reducir los costes de manipulación, un número creciente de pesqueros descarga los peces directamente a un carguero en lugar de a una cámara frigorífica. Tanto si este trasbordo tiene lugar en la mar, sólo en la mar (véase más arriba) como en el puerto cuando los cargueros descargan (véase más adelante), los métodos son válidos. No obstante, si el trasbordo a otro barco se hace en el puerto, se puede aplicar un método de muestreo como el que se emplea cuando tiene lugar la descarga en puerto (véase más arriba). Los trasbordos han de ser cuidadosamente observados, ya que no tienen lugar siempre en el muelle, sino también en la mar, frente al puerto. El muestreador podría necesitar de un pequeño bote para llegar al carguero.

##### *En la cámara frigorífica o fábrica de conservas*

Si por cualquier causa no pueden ponerse en práctica otros métodos podría aplicarse éste, pero sólo resulta apropiado si todavía puede averiguarse la procedencia del pescado.

*En puerto, durante la operación de descarga de los cargueros (transbordadores)*

Este es el método menos aconsejable, dado que la información sobre la procedencia de los peces muestreados sólo llega hasta los pesqueros que los capturaron. Existe también el riesgo de que los peces hayan sido clasificados por tallas en un puerto de trasbordo y que sólo parte de la captura (de una determinada clase de talla) se enviara mediante carguero al puerto donde se realizó el muestreo.

Cuando no se pueden aplicar otros métodos, incluso el muestreo en los cargueros puede aportar alguna información sobre la composición global de la captura de una pesquería determinada.

Los peces deben muestrearse al azar (apartado 4.2.2) con independencia de su talla. Si el muestreo tiene lugar durante las operaciones de pesca (por ej., por observadores), se pueden escoger todos los peces (por ejemplo, en el caso del palangre) de una determinada especie, o un pez de cada 5 ó 10 (o cualquier frecuencia que resulte adecuada) para medirlo. Otro método, cuando las capturas son mayores, consiste en muestrear los primeros 10, 20, 30 ó 50 peces de una especie subidos a bordo, a menos que se sepa que hay una diferencia en la talla entre el comienzo y el final de la pesca.

Cuando en un puerto se descarga el pescado mediante cinta transportadora, se puede seleccionar uno de cada cierto número de peces para su medición. Si el pez escogido no reúne las condiciones adecuadas para ser medido, se medirá el siguiente o bien se pasará el turno. Cuando una captura contiene más de una especie de interés, se muestreará una especie tras otra.

Si las circunstancias no permiten aplicar el procedimiento anterior y hay que escoger en un montón de peces, probablemente lo mejor sea tomar algunos de la parte de arriba y de la base del montón, y medirlos. Conviene proceder con cautela, ya que en ocasiones los ejemplares grandes están colocados a propósito en la base del montón, o viceversa. Así, si sólo se miden los peces en la parte superior del montón, la muestra estaría sesgada.

Si los peces han sido ya previamente clasificados por talla y/o especie, deberá prestarse especial atención en el momento del muestreo. Si este es el caso, cada parte de la captura preclasificada deberá muestrearse por separado y extrapolarse posteriormente a la captura de esa categoría de talla (apartado 4.2.6).

Suponiendo que se trata de muestras aleatorias de la población, pueden aplicarse las fórmulas presentadas en el apartado 4.2.1 para identificar los tamaños adecuados de la muestra por unidad. Cabe señalar, que la información necesaria sobre frecuencias de talla al nivel requerido de exactitud podría obtenerse (en peces de más de 15 kg) midiendo unos 500 peces de cada zona de muestreo, periodo y de cada país y categoría de arte. Cuando las varianzas entre los barcos muestreados y dentro de un mismo barco son pequeñas, se pueden obtener datos adecuados con 200 ejemplares. Sin embargo, con túnidos más pequeños, el número deberá aumentarse.

Cualquiera que sea el método aplicado, debe consignarse junto con los datos de frecuencias de talla al presentarlos a ICCAT.

A continuación se presentan ejemplos de dos diferentes pesquerías. Los números son solo una indicación y habrán de ser confirmados por cada pesquería, empleando las fórmulas estadísticas adecuadas.

Dado que los palangreros capturan peces a gran profundidad, no agrupados en cardúmenes, y que un lance se extiende hasta 120 km para capturar algunos peces relativamente grandes, la varianza de las tallas entre las muestras de diferentes barcos no es mayor que la varianza de las tallas dentro de una muestra tomada de un barco. Respecto a las especies objetivo (atún rojo, rabil, atún blanco y patudo, según la pesquería), se toman 10 barcos en cada uno de los cuales se puede probablemente muestrear 50 peces para obtener 500 peces por estrato espacio-temporal. Si se trata de pequeños palangreros costeros, sería tal vez mejor seleccionar 25 barcos (5 días x 5 barcos) y tomar 20 peces de cada uno de ellos. Para aquellas especies cuya captura es secundaria (marlines, pez espada, incluso en ocasión alguna de las principales especies de túnidos, dependiendo de la pesquería), es poco probable que se puedan medir 500 peces por cada estrato. En tales casos, se recomienda medir tantos peces como sea posible.

Los artes de cerco, caña-liña y curricán capturan peces relativamente pequeños, en cardúmenes y cerca de la superficie. Sus capturas diarias son muy superiores a las de los palangreros y aún más en número de peces, ya que la talla media y el peso de los peces son menores. Para obtener la misma tasa de cobertura que en la pesquería de palangre, deberá aumentarse el tamaño de la muestra. Un pez por tonelada métrica daría una cobertura de muestreo suficiente y puede utilizarse como pauta para establecer el nivel de muestreo. El muestreo ha de ser seguido y ajustado según convenga para obtener las muestras aleatorias que sean necesarias.

Los peces de talla similar tienden a agruparse en cardúmenes cerca de la superficie. Por tanto, una muestra tomada de un cardumen contiene escasa varianza de tallas. Sin embargo, la varianza de las tallas de los peces entre las muestras tomadas de diferentes cardúmenes es importante, lo que significa que si hay que medir el mismo número de ejemplares, se obtendrían mejores estimaciones aumentando el número de muestras al tiempo que se reduce el tamaño de las mismas.

Por tanto, respecto a la pesquería de superficie se puede recomendar lo siguiente:

- Tomar una muestra de la captura de un solo cardumen tan frecuentemente como sea posible.
- En el muestreo estratificado (una sola especie) cada muestra deberá componerse de 50 (si son grandes) a 100 ejemplares (si son pequeños).
- En el muestreo de objetivos múltiples (con especies mixtas) y cuando los peces son relativamente grandes (más de 15 kg) deberán muestrearse 100 peces. Si los peces son pequeños, se recomienda muestrear 200 ejemplares.
- Los grandes cerqueros industriales deben muestrearse dos o tres veces tomando muestras de diferentes bodegas que contengan capturas, bien identificadas, procedentes de diferentes cardúmenes.
- Deben someterse a muestreo unos diez barcos (en el caso de los grandes buques industriales) por cada estrato espacio-temporal.
- En las pequeñas pesquerías costeras, se escogerán 25 barcos (5 días x 5 barcos) y muestrear 40-50 peces para obtener 500 peces por cada estrato espacio-temporal.

#### 4.3.2 Equipo para efectuar las mediciones

Existe toda una gama de instrumentos para medir las especies de grandes pelágicos.

##### *Calibradores*

Tal vez sean los instrumentos más adecuados para efectuar las mediciones (**Figura 4.3.1**), en particular de túnidos (**Figura 4.3.2**). Se fabrican en madera, latón, aluminio y/o plástico.



**Figura 4.3.1.** Ejemplo de calibrador . Foto de Sarralde et al. (2005), reproducida con permiso.

##### *Ictiómetro*

También puede usarse un ictiómetro (**Figura 4.3.2**). Resulta muy práctico para medir peces pequeños.



**Figura 4.3.2.** Ejemplo de ictiómetro. Fotografía de Sarralde et al. (2005), reproducida con permiso.

#### *Cinta*

Una cinta métrica de acero o fibra de vidrio es también un instrumento muy práctico para medir si no hay otro método alternativo. En este caso debe intentarse mantener la cinta recta. Lo mejor es colocar la cinta sobre el suelo y poner el pez encima, o bien colocar la cinta en el suelo al lado del pez que se trata de medir.

Existe una excepción si se trata de medir la longitud desde la mandíbula inferior a la horquilla de un marlín, en cuyo caso la medición con cinta se hará sobre el mismo cuerpo del pez (es decir, longitud del cuerpo en curva). Para más detalles véase el apartado 4.3.3.

#### *Técnicas fotográficas*

En algunos países, los pescadores no permiten que se toque el pez durante el muestreo. En ese caso pueden emplearse técnicas fotográficas para estimar la composición por talla. El principio básico es fotografiar el pez colocado junto a la cinta. Posteriormente, la talla se estimará en relación con la escala, según la foto. Debe procurarse sobre todo, que el objetivo de la máquina esté perpendicular al plano del pez.

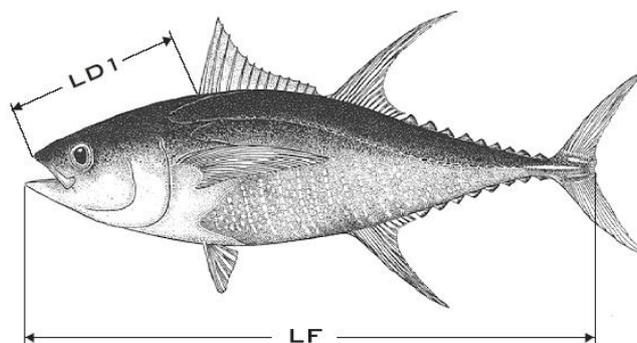
Este método puede resultar más caro (si bien las cámaras digitales eliminan el coste del revelado) y los datos que facilita son menos precisos.

#### **4.3.3 Medidas que deben tomarse**

Para efectuar la medición se colocará el pez sobre una superficie plana, en posición horizontal. Se desestimarán los peces que tengan el morro o la cola rotos (si se toma la longitud morro-horquilla) y también los peces congelados que no tengan el cuerpo recto.

#### *Túnidos*

Las medidas de todas las especies, excepto los marlines deben presentarse a ICCAT en **longitud a la horquilla**. Se trata de la distancia desde la punta de la mandíbula superior al extremo posterior del radio caudal más corto (horquilla). Figura 4.3.3.



**Figura 4.3.3.** Medición de túnidos – Mandíbula superior-longitud a la horquilla (LF) y mandíbula superior-1ª dorsal (LD1). Dibujo de Sarralde et al. (2005), reproducido con permiso.

Lo mejor es medir la longitud a la horquilla del pez. Concretamente, en caso de que la captura contenga gran cantidad de peces pequeños (por ej. listado, atún blanco de superficie) se recomienda medir la longitud a la horquilla, si bien a veces esto resulta difícil de realizar. Por ejemplo, no es posible medir el pez con precisión si presenta malformación debida a la congelación, o bien es demasiado grande para el instrumento (calibrador) que se está usando; puede no haber espacio suficiente para manipular los calibradores largos (a bordo de pequeños pesqueros comerciales, por ejemplo); los peces tienen la cola cortada o bien la mayor parte de ellos no está en posición recta. En esos casos, lo mejor es tomar la longitud predorsal (LD1) que es la línea recta desde la punta de la mandíbula superior a la base de la primera espina dorsal. **No** mezclar dos mediciones en una muestra.

Si se decide medir la longitud predorsal, esos datos deben convertirse a longitud a la horquilla antes de enviarlos a ICCAT. La relación entre la longitud predorsal y la longitud a la horquilla **debe** establecerse para cada especie y área, basándose en muestras adecuadas, ya que son bastante variables. Se han de comunicar estos factores de conversión. A menos que los datos hayan sido convertidos en longitud a la horquilla o vayan acompañados de la adecuada ecuación de conversión, no se aceptará la longitud predorsal para la base de datos de ICCAT.

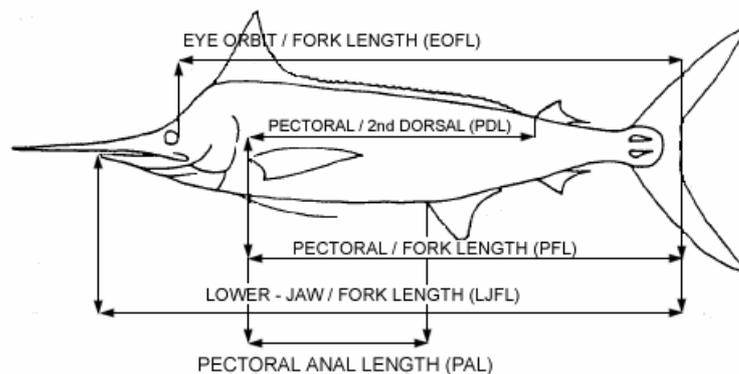
### Marlines

Una faceta importante en el muestreo de los marlines consiste en que conviene obtener datos de talla **y de** sexo, en la medida de lo posible (apartado 4.8). Es bien conocido que los machos y las hembras de marlín tienen tasas de crecimiento muy diferenciadas. Sin embargo, a veces resulta imposible identificar el sexo, y en tales casos sólo pueden obtenerse datos de talla.

La medición preferible y más fiable de la talla del marlín es la longitud desde la mandíbula inferior a la horquilla (LJFL) (Figura 4.3.4). En los peces pequeños, los calibradores resultan prácticos, obteniéndose medidas exactas en línea recta. Sin embargo, utilizar calibradores para medir en la mar grandes marlines, de más de cuatro metros, no resulta práctico.

A efectos de estandarización, es preferible tomar todas las medidas de talla con una cinta (si es posible en fibra de vidrio o acero) sobre el cuerpo del pez (longitud curvada del cuerpo), pero se aceptarán las medidas tomadas colocando el pez sobre una escala de madera.

Al existir diferencias entre las mediciones en línea recta y las tomadas en curva, **se hará** constar con toda claridad en las hojas de muestreo cual ha sido el método aplicado y el equipo utilizado, y se enviarán a ICCAT junto con los datos.



**Figura 4.3.4.** Mediciones alternativas de marlines

El muestreo de capturas comerciales de marlines plantea en ocasiones serios problemas, ya que los peces por lo general se evisceran a bordo antes de congelarlos. Esta práctica podría causar ciertas dificultades para identificar las especies por las carcasas y/o afectar las mediciones.

Las mediciones alternativas para los marlines son (**Figura 4.3.4**):

- Longitud ojo-horquilla. Distancia en línea recta o cuerpo curvado entre el borde posterior de la cuenca del ojo a la horquilla de la cola.
- Longitud pectoral-horquilla. Distancia en línea recta o cuerpo curvado entre la base anterior de la aleta pectoral a la horquilla de la cola.
- Longitud pectoral-dorsal. Distancia en línea recta o cuerpo curvado entre la base anterior de la aleta pectoral a la base anterior de la segunda aleta dorsal.
- Longitud pectoral-anal. Distancia en línea recta o cuerpo curvado entre la base anterior de la aleta pectoral al borde posterior del esfínter anal.
- Peso eviscerado. Peso individual de las carcasas. En este caso es esencial dar una descripción detallada de cómo se ha eviscerado el pez (véase más adelante).

Las medidas se tomarán sobre la línea lateral. Por ejemplo, al tomar la longitud pectoral-segunda dorsal (PDL) la distancia a la parte anterior de la segunda aleta dorsal, deberá tomarse a lo largo de la línea lateral, **y no** en la parte alta del lomo (tanto si se usan cintas como calibradores).

Las mediciones de talla que pueden hacerse en una carcasa dependerán de cómo se ha eviscerado el pez. En estos peces se tomarán las siguientes medidas:

- Peces enteros – Longitud mandíbula inferior-horquilla.
- Sin rostro, agallas ni aletas, eviscerado – Mandíbula inferior-horquilla o bien ojo-horquilla.
- Peces eviscerados sin cabezas ni aletas, con pedúnculos caudales – Longitud pectoral-horquilla.
- Peces eviscerados sin cabezas ni aletas ni pedúnculos caudales – Longitud pectoral-segunda dorsal y longitud pectoral-anal.

Como en el caso de las mediciones a la primera aleta dorsal (LD1) en túnidos, si se toma otra medida que no sea la longitud mandíbula inferior-horquilla (LJFL) se debe estudiar la relación entre esta medida alternativa y la estándar (LJFL), con el fin de convertirla a ésta última. Para desarrollar una ecuación de conversión para anteriores mediciones de talla, así como para las nuevas mediciones de peces eviscerados de los que no se conoce la medida LJFL, deberán medirse los cinco elementos antes descritos, junto con LJFL en una muestra adecuada. Dado que los peces se desembarcan eviscerados en muchos de los lugares de muestreo, sería imposible hacer todas las mediciones. Hasta que las ecuaciones de conversión queden bien establecidas, se recomienda a los muestreadores que traten de medir tantos elementos como les sea posible, siempre que dispongan de peces enteros. Todos los factores de conversión que pudieran ser útiles en el campo de las estadísticas de túnidos se dan en el **Apéndice 4**.

#### *Intervalos de clases de talla*

La mayor parte de las mediciones antes tratadas deberán efectuarse por intervalos de clase de talla de 1 cm. No obstante, si fuese necesario, los peces de más de 60 cm de longitud a la horquilla pueden medirse en intervalos de 2 cm. Si el pez se mide en su longitud predorsal (LD1), las medidas han de ser más exactas, ya que 1 cm de longitud predorsal equivale a 2-4 cm de longitud a la horquilla, sobre todo en los peces más grandes. Respecto a los peces de menos de 35 cm de longitud a la horquilla (si bien es mucho más fácil medir la longitud a la horquilla que la longitud predorsal en peces tan pequeños) la LD1 puede medirse al centímetro. Sin embargo, en cualquier pez de más de 60 cm, la LD1 deberá tomarse en intervalos de al menos 5 mm.

Se debe registrar la longitud al centímetro inferior más próximo (las fracciones de centímetro deben suprimirse) o 5 mm, como en ejemplo siguiente:

$$\begin{aligned}13,0 - 13,9 \text{ cm} &= 13 \text{ cm} \\14,0 - 14,9 \text{ cm} &= 14 \text{ cm} \\94,0 - 95,9 \text{ cm} &= 94 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}24,0 - 24,49 \text{ cm} &= 24,0 \text{ cm} \\24,5 - 24,99 \text{ cm} &= 24,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Si por cualquier motivo las medidas se han tomado al centímetro más próximo, en vez de al inferior, se mencionará de forma explícita en el informe a ICCAT. De no ser así, se supondrá que los datos están expresados en forma estándar.

### *Registro de datos*

Los sistemas para registrar los datos se desarrollarán de forma individual. Sería muy útil, si es factible, emplear papel impermeable. También resultaría muy práctico un magnetófono si el trabajo lo realiza una sola persona. Conviene comprobar que el aparato está en marcha y funciona bien mientras se miden los peces.

Hay dos métodos diferentes de registrar. Uno consiste en consignar todas las mediciones individuales según se van tomando, la segunda es marcar la clase de talla apropiada de forma que las frecuencias queden registradas.

Las hojas de registro deberán tener columnas para fecha, lugar de la captura, muestreo y otros datos asociados, tales como nombre del barco, captura descargada durante el muestreo, número de las bodegas sometidas a muestreo, peso de los peces en esas bodegas, equipo utilizado, tipo de medición de talla efectuada, frecuencia del muestreo, etc.

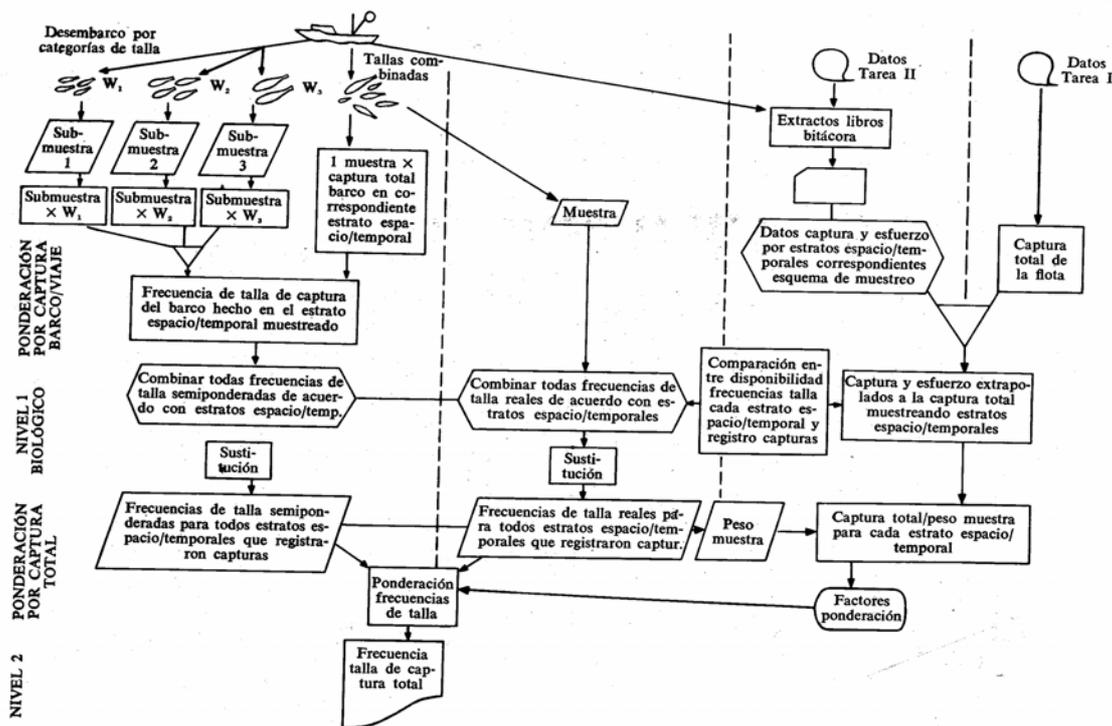
Si se trata de muestreo múltiple y se efectúa sobre especies mezcladas, se necesitará más información sobre captura y esfuerzo, así como sobre las especies, etc. En tales casos, lo más conveniente es utilizar el formulario 3-1 de ICCAT para registrar las mediciones individuales, ya que podría utilizarse una hoja para las especies mezcladas. Por otra parte, si la muestra es por especies, pero al mismo tiempo se hace muestreo de composición por especies, podrá utilizarse el formulario 3-2. Si no se requiere el muestreo de composición por especies, no se utilizará la columna destinada a este fin.

#### **4.3.4 Proceso de datos**

El procedimiento detallado facilita una muestra aleatoria para una unidad específica dentro del estrato de muestreo. Este tiene que ser combinado y extrapolado al nivel de flota/población. La extrapolación ya ha sido tratada en el apartado 4.2.6.

La **Figura 4.3.5** es un esquema que ilustra los pasos a seguir en el procesamiento de los datos brutos. El objetivo es calcular las capturas con un adecuado desglose por especie y talla. Para ello se hará el cálculo por los estratos adecuados y se sumarán. Los datos de captura por estrato y talla (apartado 4.3) así como la composición por especies (esto no se repetirá de aquí en adelante pero debe quedar entendido) son esenciales para alcanzar los objetivos.

1. Los datos brutos que se obtienen del muestreo deben combinarse en los estratos adoptados (datos del nivel 1). En el curso de este proceso los datos brutos de talla podrían simplemente combinarse. Si se toma una submuestra de capturas preseleccionadas o si las muestras proceden de diferentes bodegas del mismo barco y se conoce la captura que corresponde a cada bodega, esta podría extrapolarse parcialmente a la captura de la cual procede la muestra, antes de combinarlas (véase más adelante).
2. Después, los datos de talla del nivel 1 tienen que concordar con la captura informada para el correspondiente estrato (nivel 2). Si faltasen datos de talla de una captura, se puede asumir que la composición por tallas de ese estrato que falta es similar a la de alguna otra frecuencia de tallas (sustitución de datos). Utilizando después los datos de talla, debe estimarse la captura por talla en cada estrato (extrapolando la talla a la captura).
3. En este apartado se explican las técnicas a aplicar. Si el muestreo tiene diversos objetivos (composición por tallas y por especies), la sustitución y la extrapolación deberán efectuarse en la misma forma para las tallas y especies juntas o bien se hará una primera estimación de las capturas por especie en cada estrato espacio-temporal y después, por tallas. En cualquier caso, la técnica de la sustitución y ponderación es idéntica a la que se presenta aquí para los datos de talla (véase más adelante).



**Figura 4.3.5.** Esquema de ponderación de los datos de talla.

#### Obtención de datos del nivel 1

Los datos de talla obtenidos por muestreo han de procesarse igual que los datos del nivel 1 y después, si procede, como los datos del nivel 2.

Si por cualquier motivo, los datos de talla se registran en una unidad distinta a la estándar (longitud a la horquilla o longitud mandíbula inferior-horquilla) como LD1 etc., deberán convertirse a la unidad estándar (apartado 4.3.3). Si todas las mediciones están en la misma unidad, podrán hacerse estas conversiones una vez que todos los datos hayan sido combinados y ponderados. No obstante, si se mezclan diversas mediciones, la conversión se hará antes de combinar todas las muestras.

Si las capturas han sido previamente seleccionadas por talla, etc, antes del muestreo, y después se tomaron submuestras, o si el muestreo puede quedar identificado por bodegas en los barcos y se dispone de información asociada (como por ejemplo, la captura por bodega), las (sub) muestras deberán en primer lugar extrapolarse a la captura de las categorías preseleccionadas o bodegas muestreadas, utilizando las técnicas que se exponen en el apartado 4.2.6 y más adelante.

Después, las (sub) muestras extrapoladas a las capturas de las que proceden las muestras, deberán sumarse al estrato mínimo deseado (por ej.  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  y por periodos de 10 días, ó  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  y por mes).

Si la extrapolación no se puede hacer de inmediato (por ej. datos de talla del palangre), se debe crear una frecuencia de tallas combinando los datos de talla registrados en las hojas de muestreo diarias para cada unidad de estrato. Se puede hacer de forma manual, pero es más sencillo por ordenador. Si fuese necesario, ICCAT podría ayudar en la programación. Los resultados de estas estadísticas del nivel 1 deberán comunicarse a ICCAT en los formularios que figuran en el **Apéndice 1**.

#### Obtención de datos del nivel 2

##### Presentación de los datos

Para comprobar si los datos de talla (nivel 1) combinados para cada estrato están disponibles, deben compararse con los datos de captura recogidos en los mismos estratos espacio-temporales. Si se registra una captura para un estrato, pero no se dispone de datos de tallas, se hará una sustitución de datos. Hay varias formas de llevarla a cabo:

1. Utilizando las frecuencias de talla observadas en el mismo tipo de pesquería en otro país en el mismo estrato espacio-temporal.
2. Utilizando las frecuencias de tallas observadas por la misma pesquería en áreas contiguas durante el mismo periodo de tiempo.
3. Utilizando las frecuencias de tallas de los mismos estratos espacio-temporales, pero de años anteriores.
4. Utilizando las frecuencias de tallas observadas en la misma zona, pero de periodos anteriores o posteriores a aquel del cual faltan datos.
5. Utilizando las frecuencias de tallas de los últimos años combinadas para el mismo estrato espacio-temporal, de la misma pesquería.

La sustitución más adecuada varía de acuerdo con la pesquería, temporada, área, etc. En las pesquerías de superficie, el método 1) sería la mejor solución. En la pesquería de palangre, los métodos 2) ó 3) serían más adecuados que el 1). Si los resultados (Nivel 2) han de ser aplicados en el análisis de población virtual, donde la captura por clase de edad para cada año desempeña un papel importante, se evitará el método 3) en la medida de lo posible. Al aplicar 4) se puede incluso ajustar la talla aplicando una curva de crecimiento. Cuando los datos son muy escasos, se suele utilizar el método 5).

Se debe tener en cuenta que la sustitución de datos podría producir un sesgo importante en los datos del Nivel 2. La captura por talla resultante puede ser completamente diferente dependiendo de cómo se haya hecho la sustitución, e incluso podría llevar a una conclusión diferente en los análisis de población. Es importante que **todos** los procedimientos de sustitución adoptados estén bien documentados junto con los datos.

#### Extrapolación al total de captura

Una vez completada la sustitución, las frecuencias de tallas pueden extrapolarse al total de captura (véase también el apartado 4.2.6). La extrapolación deberá hacerse para cada estrato espacio-temporal.

1) La frecuencia de tallas expresada en número de peces debe convertirse en peso utilizando relaciones talla-peso. (Esto no es necesario si se conoce el número de peces en la captura en lugar del peso. El número total de peces en la captura dividido por el número total de peces muestreados es igual al factor de ponderación). Después, los peces en cada clase de talla se expresan en términos de peso. La suma de tales pesos dará el peso estimado de la muestra.

Ejemplo: Rabil			
<i>Clases de talla</i>	<i>Frecuencia (Nº peces)</i>	<i>Peso medio peces</i>	<i>Peso de peces en clases de talla</i>
52 cm – 53,9 cm	10	2,87 kg	28,70 kg
54 cm – 55,9 cm	12	3,11 kg	37,32 kg
56 cm – 57,9 cm	15	3,47 kg	52,05 kg
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
Total	250		1050,24 kg*
* peso de la muestra			

Si todos los peces medidos han sido también pesados, el procedimiento descrito será innecesario, ya que la suma de los peces puede utilizarse como peso de la muestra.

2) Las capturas totales (en peso) registradas para cada estrato espacio-temporal pueden dividirse por el peso de la muestra. Se obtienen así los factores de extrapolación.

Por ejemplo, si la captura de rabil en el correspondiente estrato espacio-temporal es de 1.520 t, mientras que el peso de la muestra es 1.050,24 kg, el factor de extrapolación es 1.520 t dividido por 1.050,24 t ó 1.447,2882.

3) Las frecuencias de tallas reales deben multiplicarse por los factores de extrapolación para obtener la captura por talla.

Ejemplo: Rabil. Factor de extrapolación = 1.447,2882

<i>Clases de tallas</i>	<i>Frecuencias reales</i>	<i>Frecuencias extrapoladas</i> <i>(Nº peces capturados)</i>
52 cm – 53,9 cm	10	14473 (=10 x 1447,2882)
54 cm – 55,9 cm	12	17367 (=12 x 1447,2882)
56 cm – 57,9 cm	15	21709 (=15 x 1447,2882)
...	...	
...	...	
...	...	
Total	250	361822 (=250 x 1447,2882)

#### 4.3.5 Separación de edades mediante el método “filo de cuchillo”

El método de separación de edades divide a una gama de tallas en diferentes edades, fragmentándola en captura por edad.

Las distribuciones de talla se clasifican por clases de edad asumiendo que existen distintas tallas que separan las clases de edad contiguas. Las tallas que dividen las clases de edad se pueden definir de varias maneras. Con frecuencia, estas tallas se definen como la que se encuentra a medio camino entre las tallas medias por edad prevista partiendo de una curva de crecimiento. Este método asume la misma variabilidad en las tallas a edades contiguas. Cualquiera que sea el método aplicado para seleccionar las tallas divisorias, éste método debe consignarse con toda claridad, junto con la curva de crecimiento que se ha usado.

A continuación se explica la forma de usar estas tallas divisorias. Los peces que no llegan a la primera talla divisoria se consideran como grupo de clase 0, aquellos que se encuentran en la primera y segunda talla divisoria, como grupo de edad 1 y así sucesivamente. Algunas tallas se tendrán que distribuir de forma proporcional entre dos grupos de edad. Por ejemplo, si el intervalo de la clase de talla es 1 cm y la primera talla divisoria es de 12,6 cm, en ese caso seis décimas partes de los peces en la clase 12-13 cm se considera como grupo de edad 0, y cuatro décimas partes como grupo de edad 1. Si el intervalo de talla es 6 cm, con una clase de talla de 12-18 cm, en ese caso tan sólo una fracción de  $0.6/6=0.1$  de los peces cae en el grupo de edad 0, y nueve décimas partes (0.9) en el grupo de edad 1.

La separación de edades por el método del “filo de cuchillo” puede hacerse por año, trimestre o mes, según sea la pauta de crecimiento del pez (por ej. estacional como en el caso del rabil) y de acuerdo con los datos disponibles. Si se requieren frecuencias de edad, y el corte de edad se hace a intervalos inferiores a un año, el número de individuos por edad se acumula a lo largo del año.

La ventaja del método consiste en su fácil aplicación y puede tomar en consideración pautas de crecimiento de dos etapas. No obstante, requiere un cierto número de supuestos sólidos, incluyendo el que no existe solapamiento de tallas entre cohortes. Es poco probable que este supuesto sea verdadero, por lo que existe la posibilidad de sobreestimar la fuerza de una clase de edad débil y, a su vez, subestimar una clase de edad fuerte. Esto tiene como resultado un alisamiento en los datos de captura por edad, disminuyendo la variabilidad entre cohortes. Igualmente, tiende a haber un importante solapamiento en la talla por edad de peces más viejos, sesgando el número estimado de éstos peces.

#### 4.3.6 Claves Edad-Talla (ALK)

Expresándolo de forma sencilla, las claves edad-talla se crean determinando la edad de una submuestra de la población y se emplean para convertir muestras de tallas superiores de una población, en edades. Las ALK describen las distribuciones de tallas para cada edad, y el número relativo de individuos en cada edad, es decir, se trata de una matriz que contiene la probabilidad que hay de que un pez de una talla determinada tenga una edad determinada. Una vez que se cuenta con una de estas claves, peces que tan sólo se medían, pueden clasificarse en grupos de edad de acuerdo con dicha clave. El uso de ALK supone que la muestra de peces cuya edad es conocida y la muestra de peces medidos, son tan sólo muestras aleatorias de la misma población. En ese caso, la probabilidad de que un pez tenga una edad determinada, de acuerdo con su talla, es la misma en ambas muestras.

La ALK debe por lo general aplicarse a los datos de talla del mismo periodo, ya que la variabilidad en el reclutamiento y la supervivencia por edad modificará la composición edad-talla en el tiempo, y en consecuencia el número de supervivientes por edad aplicado para ponderar las composiciones de talla por edad, cambiará. La ALK podría tener que ser estacional si el crecimiento es distinto según la temporada o bien si se produce una migración estacional. Una ALK única sólo se aplicará a los datos de talla de un cierto número de años si el crecimiento es más o menos estacionario, y se utiliza el método de Kimura y Chikuni (1987). Una aplicación multianual y multiestacional de ALK debe estar debidamente justificada. Conviene también señalar que la aplicación de una ALK derivada de un solo periodo del año puede producir serios sesgos si se usa para calcular la captura por edad del año entero.

Los datos de edad por talla obtenidos de partes duras, deben separarse por grupos de talla para los artes, periodos y lugares adecuados. El tamaño de estos grupos de talla dependerá de la amplitud de las tallas encontradas dentro de las frecuencias de captura por talla, la tasa de crecimiento de la especie y la variabilidad en la talla por edad. El muestreo estratificado por talla es necesario para asegurar que se dispone del número requerido de peces (determinado por la variabilidad de la talla por edad) de todos los grupos de talla. El desarrollo de las ALK es una tarea laboriosa, por lo que conviene obtener la mayor información posible. Existen fórmulas para estimar el número de determinaciones de la edad y mediciones de talla necesarias para garantizar un cierto nivel de precisión. Oeberst (2000) desarrolló una función universal de costo para las ALK.

La proporción por edad se calcula como sigue:

Número por edad para un grupo de talla/Número de peces cuya edad ha sido hallada en ese grupo.

La ALK para el periodo se extrapola a la distribución por talla para ese mismo periodo.

Números por edad extrapolados por grupo de talla = Números por talla\*Proporción por edad para dicha talla.

Si la ALK no contiene datos de todos los grupos de talla en la distribución por talla, en ese caso los datos en dicha distribución por talla pueden asignarse a grupos de talla contiguos cuyos datos estén contenidos en la ALK. Se genera entonces una distribución edad-talla adecuada por grupo de arte y periodo. Conviene ser prudente ya que podrían darse importantes sesgos, sobre todo en el caso de peces grandes con una amplia gama de edades.

Los números por edad por grupo de talla se añaden al conjunto de la gama de talla para obtener números por edad. Las varianzas se añaden también al conjunto de los grupos de talla y los dos componentes se califican como varianzas debida a la determinación de la edad y varianzas debida al muestreo de talla. Esto constituye la composición por edad para el periodo requerido.

Los números por edad para todos los artes se pueden calcular como sigue:

$$\sum N_a * \left( \frac{W_{ct}}{W_{cs}} \right)$$

donde  $\sum N_a$  es la suma de los números muestreados por edad,  $W_{ct}$  es el peso comercial total de la captura, y  $W_{cs}$  es el peso de la captura muestreada.

La varianzas debida a la determinación de la edad de números por edad para todos los artes se puede calcular como sigue:

$$\sum Var_a$$

donde  $\sum Var_a$  es la suma de las varianzas debidas a la determinación de la edad.

La varianzas debida al muestreo de talla de números por edad se puede calcular como sigue:

$$\sum Var_l$$

donde  $\sum Var_l$  es la suma de varianzas debidas al muestreo de talla.

Las varianzas se extrapolarán como sigue:

$$\frac{W_{ct}}{W_{cs}}$$

donde  $W_{ct}$  es el peso total de la captura comercial, y  $W_{cs}$  es el peso de la captura comercial muestreada.

Se han presentado una serie de avances en relación con las ALK. Hoenig *et al.* (1994) describe una clave generalizada “inversa” que puede emplear información de años anteriores para contribuir a la estimación de la composición por edad en el año en curso. Kimura y Chikuni (1987) esbozaron una extensión de ALK, determinando en forma iterativa la estructura por edad partiendo de una muestra de talla aplicando la clave de una muestra diferente. Supone el conocimiento de las distribuciones de talla para cada edad, lo cual facilita una ALK para el análisis. Las proporciones por edad se adaptan a continuación para hallar el mejor ajuste entre los datos observados de frecuencia de tallas y los previstos por la proporción por edad y la ALK. El método puede funcionar bien si las distribuciones de talla para cada edad están cercanas a las de la frecuencia de tallas, pero la convergencia podría ser lenta. Para obtener más información se puede consultar el documento.

#### 4.3.7 Schnute y Fournier

El método de Schnute y Fournier (1980) ha sido mas desarrollado en el paquete MULTIFAN (apartado 4.3.8) que se ha empleado para el atún blanco (*Thunnus alalunga*). Por ello, el método de Schnute y Fournier se trata aquí en forma breve.

Este método asume que las medias de talla por edad en una población representada por los datos de frecuencia de tallas en la captura, siguen una curva de crecimiento de von Bertalanffy y que la talla a una edad determinada está normalmente distribuida. Se pueden estimar las proporciones por edad, parámetros de crecimiento y un parámetro que define las desviaciones estándar de la tallas por edad. El asume que el número de las clases de edad es un factor conocido. Parámetros seleccionados representan el “mejor ajuste” entre frecuencias de tallas observadas y previstas.

El método de Schnute y Fournier podría presentar problemas al tratar de obtener soluciones únicas para todos los parámetros del modelo, y las tallas medias a edades jóvenes (que pueden identificarse a partir de las modas en los datos de frecuencia de tallas) podrían tener que fijarse. En este caso, debe consignarse y se habrán de presentar las tallas medias por edad asumidas.

#### 4.3.8 MULTIFAN

El método MULTIFAN se describe ampliamente en Fournier *et al.* (1990). Representa un modelo analítico basado en criterios de máxima verosimilitud para estimar los parámetros de crecimiento y de composición por edad, partiendo de múltiples conjuntos de datos de frecuencia de tallas. Emplea una mezcla de distribuciones y permite la inclusión de restricciones biológicas en el modelo.

MULTIFAN es una ampliación del método de Schnute y Fournier (apartado 4.3.7) para analizar de forma simultánea varios conjuntos de datos de frecuencia de tallas, muestreados en diferentes momentos. La estructura del error que se asume difiere entre los métodos, y se emplean diferentes métodos de estimación para estimar parámetros del modelo.

MULTIFAN establece una serie de supuestos clave, tal como describe Fournier *et al.* (1990). Son los siguientes: 1) las tallas se distribuyen normalmente dentro de cada clase de edad, en torno a la talla media por edad; 2) la desviación estándar de la talla media por edad varía como una función simple de dicha media y 3) el crecimiento sigue la función de crecimiento de von Bertalanffy.

El programa cambia los parámetros de von Bertalanffy y el número de clases de edad y compara los ajustes de la probabilidad de observar un pez en un intervalo dado, definido por los parámetros de crecimiento, con la proporción observada de peces en un determinado intervalo de talla, aplicando la función de verosimilitud logarítmica. Examinando los resultados de múltiples modelos, se puede usar el estadístico Chi-cuadrado del test razón de verosimilitudes para evaluar objetivamente las hipótesis alternativas del modelo. Se considera si la introducción de parámetros adicionales (por ej. clases de edad) en el modelo, tiene como resultado un importante aumento en el valor máximo de la función de verosimilitud logarítmica.

Los parámetros estimados son: 1) las proporciones dentro de una muestra por edad; 2) talla media del primer grupo de edad; 3) talla media del último grupo de edad; 4) el parámetro K de von Bertalanffy; 5) dos parámetros

que pronostican la pauta de la desviación estándar de la talla por edad; 6) un parámetro relacionado con la varianza global de los errores del muestreo en los conjuntos de datos de frecuencia de tallas y 7) un parámetro que describe la selectividad dependiente de la edad de la actividad pesquera. Si no se conoce la edad de la primera clase de edad, MULTIFAN asume que  $t_0$  es cero.

MULTIFAN es sensible al intervalo de tiempo que se toma entre muestras y las características de capturabilidad y selectividad en los datos. Podría también haber una tendencia a concentrar las clases de edad finales si las tallas medias por edad no son diferentes en exceso, o bien si los porcentajes de peces en esas gamas de talla son escasos.

Se debe prestar atención a no restringir demasiado los límites en las tallas medias. Dada la gran variabilidad en el crecimiento de los peces, unos límites restringidos en exceso podrían distorsionar los resultados. Sin embargo, los límites han de estar lo suficientemente ajustados para asegurar que la clase de edad asociada con una moda es la correcta. Se debe así mismo dejar suficiente espacio en el parámetro para que el programa pueda realizar la búsqueda. Esto ayudará a prevenir la identificación de mínimos locales durante la búsqueda.

#### **4.3.9 Funcionamiento de los métodos**

El funcionamiento de los diferentes métodos dependerá de los datos a los que se aplican y de los conocimientos sobre la pesquería y biología del stock. La mejor forma de averiguar cual es el método más adecuado es hacer una simulación. Respecto a ejemplos, véase Mohn (1994), Goodyear (1997) y Restrepo (1995).

#### **4.3.10 Bibliografía**

- BAIRD, J.W. (1983). A method to select optimum numbers for aging in a stratified approach. In: Sampling commercial catches of marine fish and invertebrates. (W.G. Doubleday and D. Rivard, eds.). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 66, 161-164.
- FOURNIER, D.A, J.R. Sibert, J. Majkowski, J. Hampton (1990). MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated using data for southern bluefish tuna (*Thunnus maccoyii*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 47, no. 2, pp. 301-317.
- GAVARIS, S. and C.A. Gavaris (1983). Estimation of catch at age and its variance for groundfish stocks in the Newfoundland region. In: Sampling commercial catches of marine fish and invertebrates. (W. G. Doubleday and D. Rivard, eds.), Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 66, 178-182.
- GOODYEAR, C.P. (1997). Fish age determination from length: An evaluation of three methods using simulated data. Fisheries Bulletin 95:39-46.
- HOENIG, J.M., D.M. Heisey and R.C. Hanumara (1994). A new approach to age-length keys: using last year's and this year's data to estimate age composition. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 42, 124-128.
- KIMURA, D. and S. Chikuni (1987). Mixtures of empirical distributions: an interactive application of the age-length key. Biometrika 43, 23-35.
- MOHN, R. (1994). A comparison of three methods to convert catch at length data into catch at age. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 42(1): 110-119.
- OEBERST, R. (2000). A universal cost function for the optimization of the numbers of age readings and length measurements for age-length-key-tables (ALKT). Archive of Fishery and Marine Research 48(1): 43-60.
- POPE, J.G. and B. Knights (1975). Sources of variation in catch at age data and the optimal use of age reading effort. ICES C.M. 1975/F: 20.
- RESTREPO, V.R. (1995). Application of cohort slicing and tuned VPA to simulated data that includes variability in length at age. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 44(2), 67-71.
- SARRALDE, R., A. Delgado de Molina, J. Ariz, J.C. Santana, P. Pallarés, R. Pianet, P. Dewals, A. Herve, R. Dedo and J.J. Areso (2005). Port sampling procedures for tropical tuna in the Atlantic and Indian Oceans. SCRS/2005/101.
- SCHNUTE, J. and D. Fournier (1980). A new approach to length frequency analysis: growth structure. J. Fish. Res. Board Can. 37, 1337-1351.

#### 4.4 CPUE y LPUE como índices de abundancia relativa

El apartado 4.2.4 presentaba fuentes de información sobre pesquerías de túnidos y señalaba que en su mayor parte están en relación con las pesquerías comerciales. Este apartado trata del uso de los datos dependientes de la pesquería respecto a desembarques o captura por unidad de esfuerzo (LPUE o CPUE respectivamente) como índices de abundancia relativa de peces. El párrafo final comenta brevemente acerca de los datos de CPUE independientes de las pesquerías.

Por lo general se considera que la CPUE es proporcional al número de peces,  $N$ , en el stock presente en una zona:

$$CPUE = q.N$$

La constante de la proporcionalidad,  $q$ , se denomina “capturabilidad”. La ecuación podría reescribirse con subíndices,  $l$ , para referirse a clases de talla específicas si es necesario. Esta relación general asume fuertes supuestos (Paloheimo y Dickie, 1964; Maunder y Punt, 2004):

- La CPUE media se estima para el mismo periodo, profundidades y área geográfica que las que tienen los peces,  $N$ , del stock.
- $q$  es constante bajo todas las condiciones de la pesca.
- $q$  no varía con  $N$ .

La diferencia entre LPUE y CPUE crea, desafortunadamente, mayor incertidumbre si no se dispone de información sobre descartes u otras pérdidas de peces en la mar. Cuando se estima la abundancia como un índice basado en la LPUE o CPUE media por estrato espacio-temporal, es necesario tener en cuenta muchos factores:

- si la pesca tenía lugar en la misma zona del stock;
- si la pesca tenía lugar a las mismas profundidades del stock;
- cuales serían los efectos de las migraciones, tanto horizontales como verticales, sobre la abundancia local (o  $q$ );
- si los peces se congregan y son menos accesibles en un stock escaso; y
- si las tecnologías y estrategias en uso por la flota pesquera son suficientemente estables para asumir que  $q$  es constante. A menudo se observa una mejora gradual de la potencia pesquera a medida que el capitán adquiere mas experiencia en el terreno de la pesca y también cuando el barco adquiere mejores equipos de búsqueda de los peces, ocasionalmente acompañado de más capacidad para explorar los caladeros. Esto se conoce como “mejoras técnicas” (‘technical creep’).

Otros posibles temas específicos de los túnidos incluyen:

- efectos de las migraciones estacionales sobre los datos de CPUE de un solo país;
- efecto de los Dispositivos de Concentración de Peces (DCP) sobre la CPUE;
- colaboración entre diferentes artes cuando se pesca sobre DCP<sup>4</sup>;
- calcular la CPUE como índice de abundancia de la población para especies en cardumen;
- calcular la CPUE allí donde se capturan túnidos para su cría. Los datos de talla y peso obtenidos en el mercado (por ej. Japón) no son comparables a los correspondientes a los “peces salvajes”.

Rara vez hay respuestas claras a estas preguntas por lo que será necesario bien aceptar el supuesto de proporcionalidad con mucha prudencia, o bien recurrir al modelado para tratar de mejorar la LPUE o CPUE como índice de abundancia (Xiao *et al*, 2004, Iª parte). Los árboles de regresión ofrecen otro método, menos preceptivo basado en un modelo (Watters y Deriso, 2000).

El modelado de CPUE es una tarea de investigación. Las variables de predicción han de ser normalmente seleccionadas de una larga lista de posibilidades que deberían incluir las interacciones entre las variables (Rodríguez Marín *et al.*, 2003). La omisión de una variable importante podría provocar un funcionamiento

---

<sup>4</sup> Los cerqueros pueden mantener un gran banco de atunes en el sitio mientras los cañeros pescan parte del banco. En este caso, cuando los cañeros son muestreados en el puerto, la composición de su captura será diferente a la que obtienen los cañeros en circunstancias normales. El esfuerzo desarrollado para capturar estos peces, será también diferente al desarrollado en circunstancias normales. Esto puede hacer necesario añadir una nueva categoría de arte para los cerqueros que cooperan con cañeros, lo que nos devuelve a la cuestión de definir claramente la pesquería que ha de muestrearse. Otro ejemplo es la de los cerqueros cooperando en el Mediterráneo en la búsqueda y captura de atún rojo. La CPUE de los barcos individuales resulta en estos casos inconsistente.

errático del modelo, en el caso de aplicarlo para pronosticar fuera del marco temporal o espacial de las observaciones empleadas para ajustar el modelo. Un conocimiento biológico previo es la mejor guía en una selección inicial de variables de predicción que, posteriormente, pueden afinarse por métodos estadísticos (Burnham y Anderson, 2002). Debe evitarse la selección paso a paso entre todas las variables disponibles. Y ello porque el significado estadístico de un elemento de predicción con un conjunto de datos y un conjunto de elementos de predicción adicionales, cambiará con frecuencia sustancialmente cuando se dan condiciones algo diferentes. La distribución de los valores del “error” (= observado –ajustado) en torno al modelo, ha de ser seleccionada entre varias posibilidades estadísticas que incluyen la posibilidad de valores de CPUE cero (Ortiz y Arocha, 2004). El método de modelado se ha de seleccionar de acuerdo con la distribución de error. La situación más sencilla es cuando puede considerarse que el logaritmo de la CPUE tiene una distribución más o menos normal en torno a un modelo lineal que ignora los ceros; entonces, resultan adecuados los métodos de regresión lineal con mínimos cuadrados, descritos en muchos libros de texto. Otras distribuciones, por ejemplo la Poisson, requerirían un Modelo Lineal Generalizado (McCullagh y Nelder, 1989). Las relaciones no lineales pueden estimarse con modelos Aditivos Generalizados (Hastie y Tibshirani, 1990). Requieren una decisión respecto al grado de flexibilidad que se puede permitir en las curvas ajustadas, además de la especificación de la función del modelo. Otra consideración a tener en cuenta en el modelado es que las diferentes ponderaciones de las observaciones tendrían diferentes grados de fiabilidad (Cotter y Buckland, 2004). Venables y Dichmont (2004) tienen una teoría general de modelado en el contexto de las pesquerías.

Dada la flexibilidad asociada con los métodos del modelado en la estandarización de LPUE y CPUE, es **esencial** que quienes informen de los resultados del modelado a ICCAT presenten un resumen de todas las selecciones y supuestos aplicados y, en la medida de lo posible, expliquen las razones que les han guiado. Los gráficos de diagnóstico resultantes (por ej., residuales, gráficos QQ) deberán también presentarse para demostrar una adecuada selección del modelo y estructura de error. Un conocimiento general de las bases de un estudio de modelado y de sus ventajas e inconvenientes, será de gran ayuda para estimar la información resultante, a efectos de evaluación y gestión de un stock.

Las LPUE de los pesqueros pueden ser más o menos importantes de un lance a otro. Por ello, es importante emplear el factor de estimación adecuado para la LPUE media en un estrato espacio-temporal. Un método sencillo es considerar sólo dos lances marcados como  $i = 1, 2$  en los cuales se retuvieron  $L_i$  peces para su desembarque tras la aplicación de  $E_i$  unidades de esfuerzo de pesca. Dos diferentes factores de estimación de LPUE media son:

$$media_1(LPUE) = \frac{(L_1/E_1) + (L_2/E_2)}{2} \quad (1)$$

y

$$media_2(LPUE) = \frac{L_1 + L_2}{E_1 + E_2} \quad (2)$$

Suponiendo, por ejemplo, que se produjeron capturas de peces en contraste, tales como que  $L_1 = 1$ ,  $L_2 = 100$ ,  $E_1 = 1$ , y  $E_2 = 2$ . Entonces

$$media_1(LPUE) = 25.5$$

y

$$media_2(LPUE) = 33.66.$$

El primer factor de estimación es la media no ponderada de los dos valores de LPUE, uno para cada lance. Este factor de estimación emplea la información sobre qué lances facilitaron cada par de valores  $L$  y  $E$  (cf. segundo párrafo bajo el título *Información*) y es el factor recomendado para la LPUE media porque cada uno de los lances, cualquiera que sea la captura, es una información igualmente válida sobre el éxito de la pesca. Por otra parte, el segundo factor de estimación da mayor importancia a la cifra de desembarque más alta,  $L_2$ . Este factor de estimación ha de aplicarse cuando los únicos datos disponibles son los desembarques totales y el esfuerzo total de lances múltiples. El sesgo en los datos del ejemplo es +32%.

Se podría contar con datos de CPUE procedentes de fuentes independientes de la pesquería, tales como las prospecciones con barcos de investigación o aviones de observación. La ventaja de estas fuentes es que no están influenciadas por decisiones de tipo comercial sobre lugares de pesca y épocas o, si están bien estandarizadas y documentadas, por cambios en el arte de pesca y en la técnica a lo largo del tiempo. Las desventajas de estas prospecciones consisten en que es poco probable que cubran toda la zona habitada por un stock y que el grado de solapamiento podría variar con la temporada, migraciones y posiblemente, de un año a otro. También es importante el diseño de la prospección. Una parrilla sistemática, por ejemplo, resultaría algo inadecuado para encontrar peces cuando el stock es escaso y se encuentra concentrado en unidades pequeñas y localizadas situadas entre los nudos de la parrilla. Por lo general, los índices de abundancia en una prospección tienden a presentar una mayor varianza que los valores de LPUE media de una pesquería comercial de amplia distribución. También es probable que contengan sesgos debido al desajuste de los lugares donde se encuentran los peces y los puntos de observación de la prospección. El uso de una serie temporal de resultados de una prospección requiere un firme supuesto respecto a que el sesgo de dicha prospección permanece constante en el tiempo.

#### **4.4.1 Cuestiones específicas de ICCAT**

Una cuestión que va adquiriendo cada vez más importancia es el solapamiento entre tiempo-espacio “muestreado” por el arte y el tiempo-espacio habitado por los peces; el grado de solapamiento ¿va cambiando con el tiempo?

En el caso de las especies de captura secundaria, como la aguja blanca del Atlántico, las únicas series temporales disponibles de la abundancia relativa son los índices de CPUE derivados de la pesquería. Los índices comerciales proceden de pesquerías de amplia distribución, pero estas pueden modificar su distribución espacial, arte (cambiando de palangre en aguas poco profundas a palangre más profundo) o de especie objetivo (los anzuelos colocados a mayor calado señalan un cambio hacia el patudo). Otros datos de CPUE proceden de pesquerías deportivas más localizadas que siempre han estado dirigidas a los marlines. Se han propuesto formulaciones alternativas de GLM en un intento de eliminar los sesgos causados por cambios que se producen en la profundidad de los lances de pesca (Babcock y McAllister, 2004).

Otro método para las especies de marlines es la aplicación de modelos de estandarización “basados en el hábitat” (Hinton y Nakano, 1996). Estos modelos incorporan el conocimiento de parámetros oceanográficos y de comportamiento (preferencia en cuanto a profundidad y temperatura) para estandarizar datos históricos de series temporales de CPUE, así como explicando los cambios experimentados por el arte a lo largo del tiempo. La idea básica es que si un anzuelo se cala en un medio preferido por la especie, tiene más probabilidad de capturar peces de dicha especie (Hinton y Maunder, 2004). Bigelow *et al.* (2002) han aplicado el modelo de estandarización basado en el hábitat para hallar índices de abundancia relativa basados en CPUE para patudo y rabil en el Pacífico. Estos índices se han empleado en las evaluaciones tanto del Pacífico centro-oeste por la SPC (Hampton, 2002) como en el Pacífico este por IATTC (Maunder, 2002). El debate acerca del uso de modelos de estandarización “basados en el hábitat” sigue en curso.

#### **4.4.2 Bibliografía**

- BABCOCK, E.A. and M.K. McAllister (2004). Modelling biases and contradictions among catch rate indices of abundance for Atlantic white marlin (*Tetrapterus albidus*). Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 56(1): 110-119.
- BIGELOW, K.A., J. Hampton, and N. Miyabe (2002). Application of a habitat-based model to estimate effective longline fishing effort and relative abundance of Pacific bigeye tuna (*Thunnus obesus*). Fish. Oceanogr. 11(3): 143-155.
- BURNHAM, K.P. and D.R. Anderson (2002). Model Selection and Multimodel Inference. New York, Springer
- COTTER, A.J.R. and S.T. Buckland (2004). Using the EM algorithm to weight data sets of unknown precision when modeling fish stocks. Mathematical Biosciences 190: 1-7.
- HAMPTON, J. (2002). Stock assessment of bigeye tuna in the western and central Pacific. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia, SCTB 15, BET-1, 37 p.
- HASTIE, T.J. and R.J. Tibshirani (1990). Generalized Additive Models. Boca Raton, Chapman & Hall/CRC.335

- HINTON, M.G. and N. Nakano (1996). Standardizing catch and effort statistics using physiological, ecological or behavioural constraints and environmental data, with an application to blue marlin (*Makaira nigricans*) catch and effort data from Japanese longline fisheries in the Pacific. Bull. IATTC 21(4), 171-200.
- HINTON, M.G. and M.N. Maunder (2004). Methods for standardising CPUE and how to select among them. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 56(1): 169-177.
- MAUNDER, M.N. (2002). Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Stock Assessment Report 3: 47-134.
- MAUNDER, M.N. and A.E. Punt (2004). Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fish. Res. 70(2-3): 141-159.
- MCCULLAGH, P. and J.A. Nelder (1989). Generalized Linear Models. Boca Raton, Chapman & Hall/CRC.511
- ORTIZ, M. and F. Arocha (2004). Alternative error distribution models for standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery. Fish. Res. 70: 275-297.
- PALOHEIMO, J.E. and L.M. Dickie (1964). Abundance and fishing success. Rapports et Proces- verbaux des Reunions, Conseil Permanent International pour L'Exploration de la Mer 155(28): 152-163.
- RODRÍGUEZ-MARÍN, E., H. Arrizabalaga, M. Ortiz, C. Rodríguez-Cabello, G. Moreno, and L.T. Kell (2003). Standardisation of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, catch per unit effort in the baitboat fishery of the Bay of Biscay (Eastern Atlantic). ICES J. Mar. Sci. 60, 1216-1231.
- VENABLES, W.N. and C.M. Dichmont (2004). GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research. Fish. Res. 70(2-3): 319-337.
- WATTERS, G.M. and R.B. Deriso (2000). Catch per unit of effort of bigeye tuna: a new analysis with regression trees and simulated annealing. Bulletin of the Inter-American tropical Tuna Commission 21(8): 531-571.
- XIAO, Y.S., A.E. Punt, R.B. Miller, T.J. Quinn, II, eds. (2004). Models in fisheries research: GLMs, GAMs and GLMMs., Fish. Res. 70:137-428.

## **4.5 Muestreo genético**

### **4.5.1 Objetivos del muestreo genético**

Para el estudio de la genética de población existen métodos para identificar una variedad de atributos de una determinada población. De especial interés en las pesquerías es la identificación de aspectos de la especie (grupo de especies, tipos de especies (es decir, especies individuales), subespecies, stocks) así como la estructura, distribución geográfica y los límites de cada uno de los atributos de la especie.

La identificación de especies puede resultar útil para la aplicación de las regulaciones cuando la identificación errónea es algo común. Por ejemplo, el rabil y el patudo pequeño se prestan a confusión.

Para una ordenación efectiva de las especies de túnidos, que son altamente migratorios, es importante identificar las fronteras del stock (por ej. atún rojo del Atlántico). Ello se basa en la teoría de que la subdivisión de la población puede tener como resultado una diferenciación genética de poblaciones aisladas por deriva genética y selección. Para identificar poblaciones, el enfoque general es por tanto observar la diversidad/desigualdad a escala de población.

Es importante señalar que la ausencia de evidencia genética de subestructura de población no significa que dicha subestructura no exista. La diferenciación genética entre stocks dentro del mismo océano podría ser muy pequeña, con frecuencia tendrá la misma magnitud que el error de muestreo. Por ello, en los estudios genéticos de estructura del stock se debe prestar especial atención al diseño experimental y a los protocolos del muestreo, con el fin de potenciar al máximo la relación de señal a ruido en los datos. Sin embargo, la diferenciación genética puede no darse si los tamaños de la población son importantes y también debido a la migración. Los modelos teóricos de diferenciación de productos de genes nucleares y la diferenciación del ADNmt indican que la migración de una cierta magnitud de individuos por generación podría bastar para impedir la diferenciación genética. Esta tasa de migración es mínima en cuanto al volumen de intercambio que sería necesario para recuperar poblaciones mermadas a un nivel interesante para quienes explotan estas poblaciones. Teniendo en cuenta las limitaciones inherentes a cada método, el mejor enfoque de evaluación de estructura del stock es el holístico, que se sirve de toda la información genética, demográfica, ecológica y estudios del ciclo vital (Waples, 1998).

### **4.5.2 Objetivos de las muestras**

El objetivo de las muestras a tomar quedará definido por los que tenga el programa de muestreo en sí. El muestreo local hallará las variaciones localizadas y la mezcla en la población por medio de análisis estadístico de los datos genotípicos. Un muestreo más amplio identificará las diferencias y similitudes genéticas a mayor escala. Por ejemplo, si se trata de estudiar las características natales de la población, el objetivo serán los peces pequeños. Estos peces deberán hallarse en su área de nacimiento. Por el contrario, los estudios a nivel de población requerirán muestras de toda la escala geográfica conocida o supuesta. La comparación de perfiles genéticos en diferentes muestras separadas en espacio y/o tiempo podría facilitar evidencia de patrimonios genéticos múltiples o stocks.

### **4.5.3 Tamaño de la muestra**

Los recursos financieros disponibles limitan con frecuencia el tamaño de la muestra. Sin embargo, los resultados de los análisis genéticos pueden verse muy influenciados por dicho tamaño. El número de lugares y años muestreados aumentará también el número de individuos a muestrear. En general, los programas completos analizan más de 100 muestras por unidad de muestreo (por ej., especie, lugar, año, etc.). El tamaño de muestra requerido dependerá de la diferenciación genética entre individuos de la especie en diferentes zonas geográficas (por ejemplo). Además, en algunos estudios se ha llegado a la conclusión que es importante potenciar al máximo el tamaño de la muestra y la cobertura temporal. Los resultados de estudios basados en muestras pequeñas pueden dar positivos falsos (por ejemplo Ely *et al.*, 2002). Por todo ello, conviene buscar asesoramiento estadístico adecuado durante la etapa de planificación del programa, con el fin de asegurar la posibilidad de alcanzar los objetivos deseados.

#### **4.5.4 Procedimientos de muestreo**

##### *Limpieza de las muestras*

Se debe evitar la contaminación. El cuchillo ha de limpiarse (por ejemplo con etanol) antes de cortar cada pez. Puede haber contaminación cuando se usa un instrumento cortante en un pez sin haberlo limpiado antes. En el caso de una posible contaminación el hecho se debe registrar en el formulario correspondiente a la muestra.

##### *Muestreo*

Se pueden muestrear el hígado, corazón y los tejidos musculares, así como la sangre, trozos de aleta o bien una porción del animal (por lo general, larvas o juveniles). Se recomienda que las muestras de corazón, hígado y músculo procedan de un solo pez. El acceso a estos tejidos podría ser limitado en algunas pesquerías, donde el precio en el mercado de los peces es un condicionante. En este caso el tejido más adecuado podría ser el músculo blanco. Al muestrear este músculo blanco, se debe extraer un trozo de piel de unos 9 cm de diámetro en la parte central del cuerpo entre la base de la aleta dorsal y la línea lateral, para descubrir el músculo.

Se toman unos 4cm<sup>3</sup> (~5g) de músculo, corazón e hígado (de cada uno). Se recomiendan el músculo y el corazón para los análisis de ADN. Limpiar, recortar y lavar en un tampón frío si es necesario (por ej. 50M EDTA). Se ha observado en algunos estudios que el aclarado aumenta los rendimientos de ADN mitocondrial cerrado circular (ADNmt). Se recomiendan piezas pequeñas para los análisis de ADN, asegurando así que el etanol penetra bien en los tejidos antes de su almacenaje.

Hay dos métodos diferentes para almacenar material procedente de peces: congelación y en etanol. El uso de uno u otro depende del tipo de estudio. La congelación es el mejor método para almacenar material destinado a la electroforesis y otros análisis biológicos (por ej., bioquímica y fisiología) debido a la fragilidad de las enzimas *in vitro*. Un almacenaje criogénico adecuado preservará la actividad enzimática y minimizará la rotura (por ej., con el uso de nitrógeno líquido). Las muestras conservadas en etanol SOLO se usarán para estudios genéticos, tales como la amplificación del ADN y secuenciación. Las muestras se pueden conservar en un 96% de etanol.

Para el almacenaje se debe meter la muestra en bolsas de plástico (cuando se congelan) o se meten en el vial de etanol y después en la bolsa de plástico (para el etanol). En todos los casos, las bolsas se consignarán los datos siguientes (si se tienen): fecha, barco, supuesta especie, talla, peso, sexo, lugar de la captura (longitud y latitud), tipo de cardumen de túnido y asociación, tipo de tejido y un número individual para cada muestra. Todas las que procedan de un mismo pez se marcarán con el mismo código. Si este pez ha servido para llevar a cabo otros estudios (madurez, etc.,) se consignará el mismo código en todos ellos.

En el caso de congelación de una muestra, se hará lo antes posible tras su recogida. Si no es posible, la muestra se conservará en hielo hasta su llegada al laboratorio y se meterá de inmediato en el congelador.

##### *Envío de muestras congeladas*

Las muestras han de ser enviadas al destinatario que proceda en hielo seco (basta con una nevera de espuma de poliestireno). Si no se dispone de hielo seco, la nevera se cubrirá de hielo y se meterá en un congelador unos días antes de su envío. Este se hará por el Sistema de Cargo Aéreo (Air Cargo System) en vuelo regular y como equipaje personal. Así resulta más rápido y barato. Lo más conveniente es enviar por fax al destinatario el documento "Air Waybill". Otra alternativa es enviar el número adjudicado al paquete en el envío.

##### *Envío de muestras en etanol*

El envío de bolsas con viales puede hacerse por correo ordinario o por cualquier otro sistema.

#### **4.5.5 Análisis de muestras**

El análisis de muestras de tejido para ADN requiere personal adiestrado y equipo adecuado. Aquí se describen las técnicas generales para facilitar conocimientos sobre el papel de los análisis genéticos. Para más detalles, se pueden consultar los artículos reseñados en el apartado de bibliografía.

La muestra de tejido puede dividirse y se pueden incubar pequeñas (por ej. de 100 mg, aunque esto dependerá de la sensibilidad de la técnica seleccionada) muestras en 1 ml de solución tampón de digestión. El período y temperatura de incubación dependerá del tejido y del método que se adopte (véase en Bibliografía). Métodos

alternativos para la obtención de ADN incluyen procedimientos con fenol/cloroformo, seguidos de precipitación de etanol.

#### *Identificación de especies*

Los patrones electroforéticos de aloenzimas y el ADN mitocondrial (ADNmt) han resultado ser útiles para distinguir las diferentes especies de túnidos. El ADN es el método preferido para el examen, ya que el ADN es el mismo en todos los tipos de células de un organismo, mientras que las proteínas pueden variar de un tejido a otro. Además, el ADN es estable y proporciona más información para el análisis que las proteínas. Por otra parte, las técnicas electroforéticas han probado ser menos adecuadas en la diferenciación de las especies de túnidos atlánticos (Bartlett y Davidson, 1991).

El análisis del haplotipo del ADNmt se ha empleado también para identificar especies. Por ejemplo, los haplotipos ADNmt ATCO se han usado para distinguir al patudo del rabil. Ward (1995) observó que el análisis del polimorfismo de tamaño de los fragmentos de restricción (RFPL) de varios genes mitocondriales permitió la clara distinción de las siete especies *Thunnus* basada en haplotipos exclusivos. Esto ha sido apoyado por pruebas de aloenzimas y ADNmt (Ward, 1995).

#### *Discriminación de la población*

Aunque se han analizado aloenzimas para cuantificar niveles de variación genética en el seno de las poblaciones y entre poblaciones, existen métodos más potentes. Estos incluyen técnicas de ADN nuclear por microsatélite y análisis de ADNmt de la región de control "D-loop".

Si bien la importancia del ADNmt en la identificación de la subdivisión de la población está bien documentada, análisis basados tan solo en frecuencias de haplotipos de ADN mt podrían realmente reflejar una dispersión dependiente del sexo o pautas de migración. Esto se debe a que el ADN mt tan sólo lo transmite la hembra progenitora. Además, la naturaleza no recombinante del genoma del ADNmt hace que se comporte como un solo locus genético, lo cual reduce en potencia la facultad para detectar una diferenciación genética significativa (Greig *et al.*, 1999). En consecuencia, los análisis de estructura de población que proporcionan mayor información combinan múltiples loci para comprobar la similitud de patrones filogenéticos.

#### **4.5.6 Análisis de los resultados**

Los niveles de variación genética pueden ser evaluados en números de alelos por locus y observados ( $H_{obs}$ ), y Hardy-Weinberg esperaban hallar heterocigosidad ( $H_{exp}$ ) (sólo para ADN nuclear). Comparando  $H_{obs}$  con  $H_{exp}$ , y haciendo pruebas en busca de desviaciones partiendo del equilibrio dentro de las muestras, de Ardy-Weinberg, se puede evaluar la importancia de la variación genética.

Se puede evaluar la homogeneidad de la frecuencia de microsatélites de los alelos entre poblaciones temporales y espaciales. Las muestras temporales procedentes de la misma zona espacial pueden agruparse siempre que no difieran mucho en cuanto a frecuencia de alelos. Después se pueden comparar los datos espaciales. Se recomienda el uso de la técnica secuencial Bonferroni (Rich, 1989) para ajustar niveles de importancia para comparaciones simultáneas múltiples. La diferenciación de población puede también medirse por medio de análisis de varianza molecular (AMOVA) (Excoffier *et al.*, 1992).

Otra técnica es el análisis jerárquico de diversidad nucleótida como medida de diferenciación de la población (Holsinger y Mason-Gamer, 1996). Este método permite el examen de población de estructura geográfica empleando datos de sitio de restricción y de la secuencia de ADN donde la variación no se hereda de forma independiente. Las poblaciones se agrupan basándose en el tiempo medio de unión por pares de haplotipo. Los resultados se presentan en un diagrama de árbol que muestra la relación entre poblaciones tras realizar un remuestreo de los datos 10.000 veces. Los valores P importantes implican que la media de tiempo para unir dos haplotipos del mismo nudo de un árbol es inferior a la que necesitan dos procedentes de diferentes nudos.

#### **4.5.7 Bibliografía**

APPLEYARD, S.A., P.M. Grewe, B.H. Innes, and R.D. Ward (2001). Population structure of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Pacific Ocean, inferred from microsatellite loci. *Marine Biology* 139: 383-393.

- BARTLETT, S.E. and W.S. Davidson (1991). Identification of *Thunnus* tuna species by the polymerase chain reaction and direct sequence analysis of their mitochondrial cytochrome b genes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 309-317.
- ELY, B., D.S. Stoner, J.R. Alvarado Bremer, J.M. Dean, P. Addis, A. Cau, E.J. Thelen, W.J. Jones, D.E. Black, L. Smith, K. Scott, I. Naseri, and J.M. Quattro (2002). Analysis of nuclear *ldhA* gene and mtDNA control region sequences of Atlantic northern bluefin tuna populations. *Mar. Biotechnol.* 4, 583-588.
- EXCOFFIER, L., P.E. Smouse, and J.M. Quattro (1992). Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes-Application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131, 479-491.
- GREIG, T.W., J.R. Alvarado Bremer, and B. Ely (1999). Preliminary results from genetic analyses of nuclear markers in swordfish, *Xiphias gladius*, reveal concordance with mitochondrial DNA analyses. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 49(1): 476-482.
- HOLSINGER, K.E. and R.J. Mason-Gamer (1996). Hierarchical analysis of nucleotide diversity in geographically structured populations. *Genetics* 142, 629-639.
- PUJOLAR, J.M., M.I. Roldán, and C. Pla (2003). Genetic analysis of tuna populations, *Thunnus thynnus thynnus* and *T. alalunga*. *Marine Biology* 143, 613-621.
- WAPLES, R. (1998). Identifying stock structure and resolving stock mixtures in tuna. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 50, 207-208.
- WARD, R.D. (1995). Population genetics of tunas. *J. Fish Biol.* 47, 259-280.

## 4.6 Mercado

Actualmente muchos organismos en el mundo entero están marcando túnidos y marlines allí donde se encuentren, y tanto pescadores como quienes tratan en túnidos tienen oportunidad de encontrar peces marcados. ICCAT ha desarrollado un programa conjunto, internacional, de marcado en el Atlántico y mares adyacentes. Un cierto número de países miembros participan en el programa y liberan muchos túnidos, afines y marlines marcados con marcas “convencionales” o bien con marcas electrónicas de varios tipos (transmisores acústicos, marcas-archivo, marcas-archivo “pop-up”, apartado 4.7). Los túnidos y marlines se marcan para obtener información sobre sus movimientos, migraciones, estructura del stock, crecimiento, tamaño de la población, mortalidad, comportamiento en cardumen y fisiología, que permita investigar las repercusiones de varios tipos de pesca sobre los peces y las pesquerías.

Marcar estos peces, grandes y muy activos, no resulta fácil, y quienes tengan escasa experiencia en este tipo de trabajo podrán aprovechar la de aquellos que llevan tiempo llevándolo a cabo.

Para que este programa tenga éxito, es esencial contar con la colaboración tanto de pescadores como de industriales en la recuperación de las marcas. Podría haber sustanciosas recompensas para una marca recuperada, en particular si se trata de una marca electrónica. Estas recompensas las pagan las agencias de investigación involucradas en la campaña de marcado. Además, para fomentar la recuperación de marcas, ICCAT celebra loterías anuales (véase el apartado 4.6.4). Muchas de las marcas devueltas van acompañadas de datos incompletos o bien llegan sin dato alguno, por lo que es obvio que se necesitan mejores sistemas de recopilación de información sobre los peces marcados y recuperados.

Esta sección del Manual de Operaciones es un resumen de los métodos aplicados en el marcado de túnidos y marlines y para asegurar la devolución de las marcas recuperadas, junto con la adecuada información.

### 4.6.1 Experimentos de marcado en la evaluación y ordenación de stocks de túnidos en el área ICCAT

Los túnidos son muy apreciados tanto por los pescadores comerciales como por los deportivos. Pero su tamaño y la velocidad de sus movimientos hacen que resulte difícil estudiar su comportamiento y su biología, en especial cuando se encuentran libres en su medio natural. La fisiología termorreguladora y su tamaño les permiten desplazarse entre aguas polares y aguas templadas o tropicales durante semanas o meses. No obstante se conoce bastante poco sobre la vida y movimientos de los túnidos, dónde se reproducen o cual es la estructura de su población. Esta falta de conocimientos ha ido acompañada de un fuerte descenso, acaecido recientemente, del tamaño en algunos stocks de túnidos (por ejemplo, el atún rojo del Atlántico). El informe del Comité del US National Research Council (NRC, 1994) sobre la condición del atún rojo del Atlántico señalaba que las actuales investigaciones sobre la biología de la especie eran insuficientes para abordar las principales cuestiones biológicas relacionadas con la ordenación de la pesquería. El informe recomendaba en concreto el uso de nuevos medios, tales como las marcas electrónicas, para resolver la cuestión de la estructura del stock.

Actualmente, ICCAT trata los recursos de atún rojo del Atlántico noroeste y del Atlántico-Mediterráneo nordeste como dos unidades de ordenación separadas. Se considera que existe un stock en el Atlántico este con un área de reproducción en el Mediterráneo y se supone la existencia de un segundo stock en el Atlántico oeste con un área de reproducción en el Golfo de México (Metcalf *et al.*, 2002). El informe del NRC recomendaba estudiar de nuevo la hipótesis de dos stocks (NRC, 1994). Las principales incertidumbres identificadas en el informe eran la amplitud de los movimientos del atún rojo entre el este y el oeste del Atlántico y dentro de cada zona, la fidelidad a la zona de desove y las repercusiones que estos movimientos transoceánicos tienen sobre la selección de una estrategia de ordenación.

Para entender el ciclo vital del atún rojo y otras especies de túnidos y establecer estrategias efectivas de muestreo, se deben identificar y cuantificar las pautas temporales y espaciales de su movimiento en los océanos. La solución de las cuestiones de estructura del stock de atún rojo atlántico es algo crítico para la ordenación de la especie. Resulta difícil obtener datos sobre las pautas de dispersión de los peces pelágicos con amplias escalas geográficas, porque los medios en el terreno de la analítica de los que se dispone para estudiar a estos peces, cuando están libres en su ambiente natural, son escasos.

Los resultados de estudios de marcado convencional demuestran que todas las clases de talla de atún rojo tienden a realizar travesías trasatlánticas (NRC, 1994). En la actualidad, se precisa de tecnologías para incrementar el volumen de datos sobre el marcado convencional, con el fin de definir mejor los límites geográficos de los stocks. Un problema fundamental en la ordenación de los túnidos, en relación con la fidelidad a la zona de

desove es determinar, respecto a los peces que cruzan el Atlántico, si desovan sólo en una zona (por ejemplo el Golfo de México o el Mediterráneo) o en ambas. Los recientes estudios realizados con marcas electrónicas sobre los movimientos y la estructura de la población de atún rojo atlántico, apoyan la hipótesis de dos stocks y facilitan evidencia de la existencia de diferentes zonas de desove que se solapan en las zonas tróficas. Los resultados revelan también lugares muy activos de desove del atún rojo en el talud norte del Golfo de México (Block *et al.*, 2005).

#### **4.6.2 Programas de marcado**

Muchos organismos dedicados a la investigación llevan a cabo programas de marcado destinados a recopilar datos sobre tónidos y especies afines en diferentes regiones del Atlántico. Se puede encontrar una lista de los programas de marcado recientes y actualmente en marcha en: [www.iccat.int/tagging.htm](http://www.iccat.int/tagging.htm).

ICCAT mantiene inventarios de las marcas colocadas. Los científicos que realizan las campañas de marcado deberían enviar información (tipo de marca, número, zona, arte, fecha, especie, talla, etc.) a ICCAT, para que pueda mantener el inventario al día.

#### **4.6.3 ¿Experimentos de marcado dirigidos o bien oportunistas?**

El enfoque que se dé al marcado de los tónidos dependerá del objetivo del programa de marcado.

Si se trata de promover las actividades de marcado en las pesquerías como medio de incrementar el sentido de responsabilidad respecto a la conservación de las especies (por ejemplo, fomentando que los pescadores deportivos liberen los peces vivos en lugar de matarlos), en ese caso el marcado oportunista es el adecuado, si bien suelen disminuir las probabilidades de obtener datos científicos útiles. Esto se puede aplicar no sólo a dónde y cuántos peces de una población son marcados (ya que no se establecen metas, en comparación con los objetivos científicos), sino que también puede tener como resultado unas tasas de recuperación escasas, bien porque los peces no se manipulan con el cuidado necesario para asegurar una larga supervivencia tras el marcado o, más probable, porque no se ha prestado la atención suficiente a establecer un buen programa de recuperación de marcas, y no se ha hecho la publicidad adecuada o suficiente sobre la liberación de peces marcados y/o no existe un sistema estructurado para enviar detalles de la recaptura a quienes han marcado los peces y para el pago de recompensas. Una buena recuperación de peces marcados y los datos precisos sobre la recaptura, son la clave del éxito de cualquier programa de marcado.

Esta consideración indica que los programas de marcado deben planificarse con esmero, estableciendo objetivos claros (por ejemplo, estimación de la abundancia de la población, estimación de las tasas de mortalidad, identificación de stocks/rutas de migración, evaluación de quienes explotan un stock determinado, etc.).

Al planificar un programa de marcado es importante tener una idea del tamaño del “stock”, la amplitud de su distribución geográfica y sobre las posibles tasas de recuperación de marcas. Estos factores son importantes para estimar cuantos peces deben marcarse, dónde y cuándo, a fin de obtener un resultado sólido desde el punto de vista estadístico. Es igualmente importante saber quienes tienen probabilidades de pescar esos peces, saber también si son adecuados para efectuar el marcado o bien si es preciso realizar pesca experimental para marcar un número suficiente de peces en el lugar o lugares apropiados.

#### **4.6.4 Recuperación de marcas, publicidad y recompensas**

Los experimentos de marcado suelen ser costosos y requieren el uso de barcos, personal experimentado y, si se emplean marcas electrónicas, el despliegue de dispositivos caros. Es por lo tanto imprescindible emplear los recursos suficientes para lograr que los pescadores devuelvan las marcas junto con los detalles de su recaptura y, si es posible, el cuerpo del pez. Estas consideraciones cobran más importancia allí donde el precio de los tónidos es alto. Suele ocurrir, sobre todo en el marcado oportunista, que los programas de marcado no tengan todo el éxito esperado porque no se han asignado suficientes recursos a la publicidad y a las recompensas para asegurar un máximo de recuperación de marcas.

##### *Publicidad y recompensas*

El número de marcas recuperadas aumentará considerablemente con una buena publicidad y un sistema de recompensas, junto con un buen programa de estudio de captura/stock (véase más abajo). Los programas de recuperación de marcas incluirán:

- investigación sobre la posible zona geográfica de recuperación de marcas
- publicidad del programa de marcado en la zona geográfica adecuada y en el idioma(s) local(es)
- programas adecuados de rastreo de marcas y muestras con un tamaño suficiente
- instrucciones claras a los pescadores
- un incentivo para declarar las marcas y enviar información

#### *Investigación sobre la probable zona geográfica de recuperación*

Los programas de marcado deben tener en cuenta la posibilidad de la recaptura de peces marcados. En las pesquerías marinas, la zona de la misma puede ser muy grande si bien se puede reducir mucho con información de apoyo procedente de los datos de captura o bien de anteriores estudios de marcado. Respecto al marcado electrónico, se deben realizar encuestas previas al marcado, con marcas convencionales, para obtener una estimación aproximada de dónde se recuperarán las marcas electrónicas y por parte de qué pesquerías. Después, se pueden aplicar técnicas de pesca estándar para recuperar las marcas o bien las capturas se pueden rastrear de forma similar a las marcas convencionales.

#### *Publicidad del programa de marcado*

Inicialmente, los objetivos, el tipo de marca, el tipo de marca secundario (si se usa) y las recompensas (si las hay) deben publicitarse con claridad. Las personas que potencialmente podrían recuperar las marcas o enterarse de que se ha producido tal recuperación (pescadores, manipuladores de pescado, pescadores deportivos, etc.) deben estar informados de la posible presencia de marcas de interés científico en los peces que manipulan. Es importante insistir acerca de la importancia científica del programa de marcado y el valor de los datos registrados en las marcas electrónicas (si se usan), así como sobre las ventajas que ofrecen los datos en la conservación y, posiblemente, en la mejora de la evaluación y ordenación del stock.

La publicidad puede incluir:

**Anuncios** en periódicos internacionales, nacionales y locales. Si el programa de marcado tiene su base en una localidad, probablemente lo mejor es poner anuncios sólo en los periódicos locales para insistir sobre la probabilidad de que sea allí donde se recapturen los peces.

**Carteles** - Los carteles presentarán los detalles que ayudarán a reconocer un pez marcado (presencia de una marca externa, un corte en la aleta, alguna marca, etc.) y el contacto para la devolución del pez o de la marca. Los carteles se han usado ampliamente en estudios de marcado convencional y electrónico y se han colocado en lugares bien visibles en las plantas de procesamiento y en los puertos pesqueros. El idioma en que se imprime el cartel debe ser adaptado a las regiones donde se prevé la recuperación de marcas.

**Presentaciones públicas** – La experiencia ha demostrado que las relaciones directas entre científicos y pescadores comerciales o con el público en general, mejoran la tasa de recuperación de marcas y dejan una impresión más duradera sobre los objetivos del programa. Las presentaciones públicas han de estar dirigidas a pescadores y organizaciones pesqueras, procesadores, grupos locales representativos y a todos los usuarios del recurso en estudio. El contacto directo con pescadores y otros contactos locales por medio de entrevistas, permiten dirimir las cuestiones oportunas con celeridad y establece un diálogo útil entre los científicos y el público en general.

**Refuerzo posterior** – El reforzamiento, tanto del mensaje como de los contactos originales ha resultado eficaz en la obtención de marcas que de otro modo se hubiesen perdido, en particular si las marcas pueden recuperarse durante más de una temporada de pesca.

#### *Programas de rastreo de marcas y tamaño de la muestra*

Incluso cuando la zona general de actividad ha sido identificada, sigue existiendo el programa de la recuperación de marcas. En las pesquerías marinas, donde el tamaño de los cardúmenes puede ser grande en relación con el número de peces marcados, será preciso capturar un gran número de peces para asegurar la recuperación de una sola marca. Por ello, en general, los programas de marcado están normalmente asociados con pesquerías comerciales, en las que se dispone de grandes cantidades de peces para su examen. Lo ideal sería poder examinar toda la captura en busca de marcas. Si esto no es posible, se debe examinar una porción suficiente de la captura. Los números dependerán del tamaño estimado de los cardúmenes, su distribución temporal y geográfica y el

número de peces marcados y liberados inicialmente. Se pueden obtener grandes mejoras si se pueden examinar capturas completas, de forma rutinaria, en busca de marcas a bordo de pesqueros o en las plantas de proceso. Esto podría estar a cargo de personal científico en el puerto, por observadores científicos a bordo de los barcos o bien por algunos pescadores especialmente entrenados.

#### *Instrucciones claras a pescadores y manipuladores*

Las instrucciones sobre la extracción de las marcas y acerca de los procedimientos a seguir para recoger la información pertinente, o para conservar el pez, deben darse mucho antes del periodo de marcado y después, insistir en ellas en el curso de las operaciones de pesca. En el caso de algunos programas de investigación, podría ser importante recuperar los cuerpos de los peces para investigar su crecimiento y condición, o bien determinar si ha desovado. En el curso de operaciones intensivas de pesca comercial y en plantas procesadoras con gran volumen de trabajo, la recuperación de marcas no debe interferir demasiado con las tareas ni con las operaciones comerciales. Si la extracción de la marca es algo sencillo, se obtendrá mayor colaboración de los pescadores o manipuladores que tengan más oportunidades de entrar en contacto con los peces marcados. Esto se puede hacer por contrato o bien por el pago de una cierta cantidad por las marcas recuperadas. En algunos casos, el tiempo de que disponen los pescadores o los manipuladores para extraer las marcas es escaso y sería mejor confiar la tarea de examinar los desembarques en busca de peces marcados a personal técnico entrenado.

#### *Incentivo para declarar las marcas*

Los datos de marcado son valiosos, en particular si se trata de marcas electrónicas, ya que los datos registrados por una sola marca-archivo pueden tener gran importancia. Por lo tanto, conviene ofrecer un buen incentivo a la devolución de marcas, sobre todo si depende de pescadores comerciales o de manipuladores. A continuación se presentan los incentivos que se han usado en el caso de las marcas convencionales, con más o menos éxito.

##### **(a) Recompensas monetarias**

Esta es una costumbre ya antigua, aunque resulta difícil decidir cual sea el importe adecuado. Si se trata de recuperar marcas transmisoras para usarlas de nuevo, la recompensa debe ser inferior al costo de reemplazar la marca. Respecto a las marcas que almacenan datos, la recompensa se decidirá de acuerdo con el costo del programa de marcado, la importancia de los datos y el esfuerzo necesario para conseguir recuperaciones de marcas, aunque esto puede ser difícil de estimar en términos directos de coste/beneficio. ICCAT ofrece una recompensa de 1.000 \$USA por la devolución de cada marca-archivo implantable y 500\$ USA por cada marca archivo externa pop-up por satélite en sus programas de marcado de atún rojo y marlines atlánticos (Prince y Cort, 1997).

##### **(b) Regalos**

Con frecuencia se prefieren los regalos ya que son más fáciles de administrar y también más aceptados, sobre todo si tienen "popularidad". En muchas partes del mundo se ofrecen camisetas, sudaderas, insignias y gorros, todo lo cual se presta al coleccionismo.

##### **(c) Información**

Con frecuencia, el aliciente para devolver marcas aumenta si se ofrece información a la persona que recupera la marca, en particular si esa persona trabaja en la industria pesquera. En general, la información consistiría en un prospecto en el cual se detallan los objetivos del estudio de marcado, detalles sobre el pez marcado y recuperado e información acerca de los resultados globales del programa.

##### **(d) Reconocimiento**

La publicación de una lista de personas que hayan recuperado marcas en un instituto o en un boletín de pesca, sirve con frecuencia para dar publicidad al programa de marcado y fomentar la devolución de marcas.

##### **(e) Torneos y loterías**

Como incentivo general, una lotería puede resultar útil para aumentar las tasas de devolución de peces marcados. ICCAT celebra loterías anuales. Se hacen tres sorteos: para marlines, túnidos de aguas templadas y túnidos tropicales con un premio de 500 \$USA para cada ganador. La lotería de marcas de ICCAT tiene lugar en el curso de la reunión anual del SCRS.

#### **4.6.5 Métodos de captura de peces**

Existen muchos métodos para capturar túnidos vivos que pueden ser adecuados en programas de marcado y

liberación, tanto con marcas convencionales como electrónicas, que incluyen pesca con liña, con red o con almadraba. Los peces se pueden marcar al cabo de segundos o minutos de su captura y en la misma secuencia de la pesca (barcos de cebo, curricán o artes deportivos), o bien puede pasar más tiempo entre la captura y el marcado, y este no tiene lugar en la misma secuencia de su captura (cerco, almadraba, redes de enmalle o palangre). Se obtienen mayores éxitos en experimentos en los cuales el pez se marca a los pocos segundos o pocos minutos de su captura. Las tasas de devolución de tñidos marcados capturados por el cerco son inferiores a las de los tñidos marcados capturados por los barcos de cebo, y estas tasas van en descenso a medida que aumenta en tiempo que pasa el pez en la red antes de ser marcado y liberado (Bayliff, 1973). En algunos casos al menos, grandes cantidades de peces marcados y liberados en almadrabas son pescados por las mismas a los pocos días.

Se han desarrollado métodos especiales para capturar y marcar especies de grandes pelágicos, tales como tiburones, tñidos, marlines y peces vela, que son difíciles de manipular y sedar a bordo por su tamaño y fuerza. El principal método es la caña-liña con barcos que usan señuelos con anzuelos especiales sin lengüeta. Los peces se manipulan con rapidez, sin anestesia y se tiene cuidado en no causar daños en la piel, usando cunas de marcado o de medición recubiertas de un plástico blando (Williams, 1992).

#### **4.6.6 Manipulación del pescado**

Una vez capturado, el pez ha de ser manipulado con cuidado. Se marcará, devolverá al agua o liberará lo más deprisa posible, siempre que parezca capaz de moverse hacia delante en el agua. Por el contrario, si el pez parece estar exhausto o muestra signos de estrés (es decir, coloración o heridas obvias) que le impedirían nadar tras la liberación, deben hacerse todos los esfuerzos posibles para reanimarlo (véase Prince *et al.* 2002, para métodos de reanimación de tñidos y marlines). No se debe dejar caer el pez en la cubierta ni permitir que se golpee con el costado del barco o el mamparo. Al cogerlo se mantendrá en posición horizontal y las agallas no se tocarán con los dedos. Sólo se marcarán y liberarán peces que estén en buenas condiciones. Esto es importante no sólo por cuestiones de conservación sino también porque las marcas electrónicas (si se usan) son caras, por lo que es muy importante que el pez sobreviva a largo plazo.

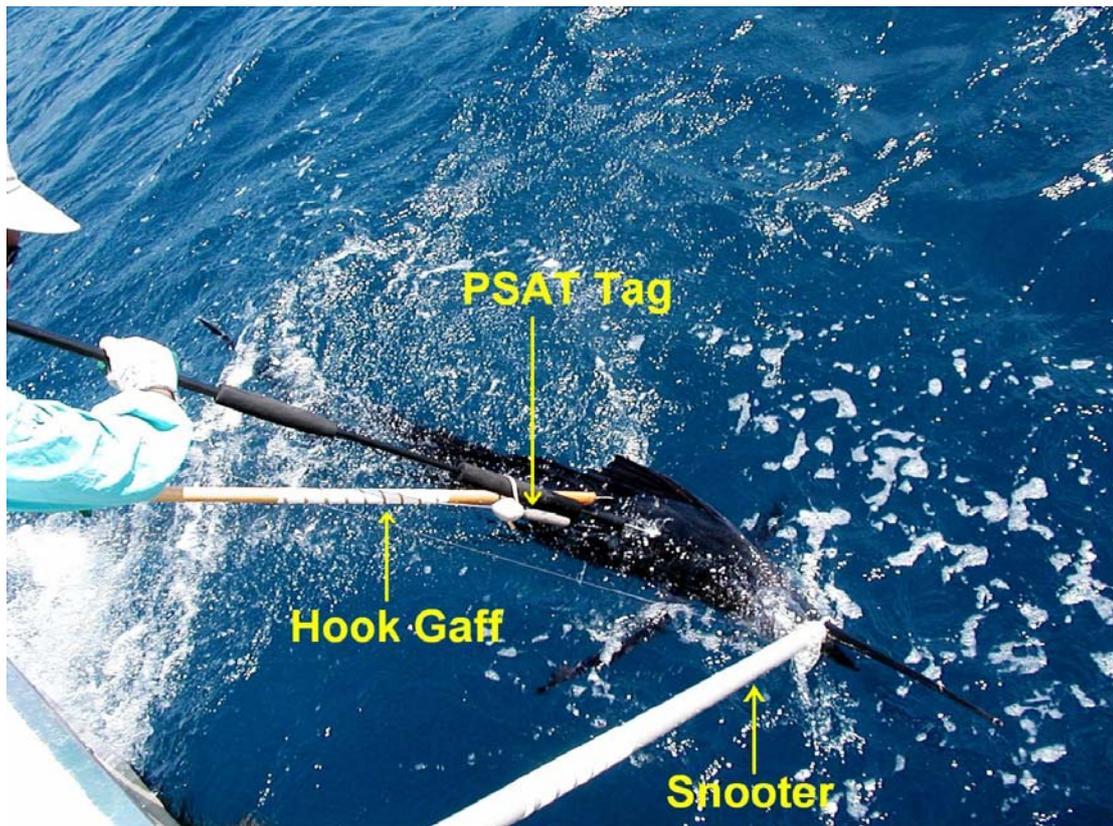
En las tareas sobre el terreno no siempre se dan las condiciones ideales en la manipulación de los peces. Servirse de instalaciones para la recuperación y para poner la anestesia puede resultar difícil por falta de espacio o bien por el mal tiempo en la mar. La persona que realiza el experimento debe pues evaluar las dificultades relativas de aplicar anestesia en relación con el posible trauma y daño causado al manipular un pez **no anestesiado**, aunque podrían primar las consideraciones de tipo legal. Cuando las marcas se pueden aplicar con rapidez y sin daños, con frecuencia la anestesia se substituye por métodos más sencillos para mantener al pez tranquilo durante el marcado, como por ejemplo, taponar los ojos. En general no se aplica anestesia en el marcado de los tñidos o marlines. El proceso de captura es probablemente mucho más estresante y largo que el de colocación de la marca, incluso cuando las marcas son electrónicas, que suelen requerir sólo una operación quirúrgica menor. En vez de ellos, se cubren los ojos del pez lo cual suele mantenerle tranquilo. Se han desarrollado dispositivos especiales para facilitar los procesos y minimizar la manipulación. (Véase más adelante y Block *et al.*, (1991a, 1992b, 1998a), Carey y Robinson (1981), Holland *et al.* (1990a, 1990b), Williams (1992) y Prince *et al.* (2002).

Block *et al.* (1998a) crearon un método de mucho éxito para capturar y manipular el atún rojo atlántico (*Thunnus thynnus*) para colocar marcas-archivo y estudios de seguimiento acústico. Los peces se pescan con aparejos fuertes, de anzuelos circulares y cebo presentado en una vara ("Chunk fishing"), técnica que permite controlar al pez para minimizar su tiempo de lucha. Los peces se izan a bordo del barco de marcado cogiéndolos con un pequeño garfio por la boca, de la punta de la mandíbula inferior, y se empuja al pez a través de la "puerta para tñidos" de la popa, sobre la cubierta y encima de un colchón mojado. Los ojos del pez se cubren inmediatamente con paño suave mojado y las agallas se oxigenan con una manga de agua salada mientras se implanta la marca en la cavidad corporal. Este método es adecuado también en el caso de peces grandes (hasta 250 kg) y el riesgo de dañar el pez escaso. Algo similar se emplea para el atún rojo del sur (Jun *et al.*, 1994).

FAO en su *Fisheries Technical Paper* "Materials and methods for tagging tuna and billfishes, recovering the tags and handling the recapture data" ("Materiales y métodos para marcar tñidos y marlines, recuperar marcas y utilizar los datos de recaptura") (Bayliff y Holland, 1986), presenta métodos para manipular tñidos y afines que se describen más adelante. También, mas recientemente se ha publicado una guía sobre métodos de marcado para evaluación de stock e investigación de pesquerías, en un informe de un *Concerted Action FAIR project (CATAG)* (Thorsteinnsson, 2002).

### Método “en el agua”

Este método lo emplean los pescadores comerciales y deportivos, así como los científicos, usando marcas archivo convencionales o marcas archivo pop-up por satélite para los peces que son demasiado grandes o demasiado peligrosos para izarlos a bordo (Prince *et al.*, 2002; Ortiz *et al.*, 2003; Prince y Goodyear, 2006). El pez se acerca al costado del barco y la marca se coloca mientras el barco se mueve lentamente, pero sólo después de que el pez está “cansado” hasta el punto de que se ha tranquilizado y es más fácil de manejar. En el pasado, este método se ha considerado a veces menos ventajoso que otros ya que a menudo se produce una falta general de control sobre el pez en el agua y algunos peces están bastante dañados por la lucha sostenida durante su captura. Además, no siempre es fácil medir a los peces con precisión cuando se manipulan con este método. No obstante, se han desarrollado nuevos dispositivos y técnicas de manipulación de los peces con el fin de controlar el pez cuando está al costado del barco y posicionarlos en el agua para garantizar una colocación de la marca segura y adecuada. (Prince y Goodyear, 2006, **Figura 4.6.1**). Además, se han desarrollado métodos innovadores para la reanimación de los túnidos y los marlines utilizando este método, y estos procedimientos aumentan en gran medida la supervivencia de los peces marcados y liberados (Prince *et al.*, 2002). Asimismo los esfuerzos para reanimar a los peces marcados se consideran, cada vez más, críticos para la supervivencia posterior a la liberación (Prince y Goodyear, 2006). En otras palabras, los métodos de marcado en el agua han evolucionado desde un enfoque relativamente primitivo, hasta un enfoque cada vez más sofisticado. Históricamente, este método había demostrado su validez, especialmente para marcar especies menos comunes de istiofóridos, cuando los métodos comerciales de captura son a menudo poco prácticos. En otros casos, el método en el agua es útil cuando no se ha descubierto otro método alternativo para manipular peces muy grandes de forma segura y las recuperaciones de las marcas colocadas con este método han aportado mucho a nuestros conocimientos sobre la biología de los grandes túnidos y marlines (Ortiz *et al.*, 2003). Gran parte de la base de datos de marcado de ICCAT de grandes especies pelágicas está compuesta por datos recopilados utilizando este método, especialmente de los programas de marcado oportunista.



**Figura 4.6.1.** Un lazo (tubo de pvc con un lazo de alambre) y un pequeño arpón con garfio (palo de madera) se utilizan a la vez para controlar este pez vela del Atlántico y garantizar la colocación precisa y segura de una marca PSAT. Reproducido con permiso de Fisheries Oceanography.

### “Winging”

Este método se ha venido usando en ocasiones para el listado (*Katsuwonus pelamis*, Yamashita y Waldron, 1958) y atún blanco (*Thunnus alalunga*, Laurs *et al.*, 1976). Durante la operación los peces se cogen con un garfio o anzuelo, se izan y se colocan bajo el brazo, quitándoles el garfio o anzuelo. La persona que marca se coloca a medio metro de la que pesca (suele haber un marcador por dos pescadores). Mientras se extrae el garfio o anzuelo, se inserta la aguja de marcado, por lo general de derecha a izquierda.

Este método suele resultar menos adecuado que el método de la cuna (véase más adelante) ya que requiere gran habilidad y resulta difícil medir y pesar el pez con precisión. Además, es probable que el pez quede más dañado que con el método de la cuna. Pero si las condiciones son apropiadas y sólo se trata de marcar un escaso número de peces, este método puede resultar adecuado.

### Método en cubierta

Este método se ha empleado sobre todo con grandes túnidos. Su uso fue comunicado por vez primera por Fink y Bayliff (1970) para rabil grande, *Thunnus albacares*, en un barco de cebo. Las mejoras introducidas al mismo fueron descritas por IATTC/CIAT, 1981:26.

Con este método toda la cubierta de popa del barco y los costados de las cubas de cebo contiguas están acolchados con una goma espuma, que absorbe energía (células cerradas) cubiertas con Herculite, un material de plástico blando. Esto facilita que el pez se deslice con bastante facilidad y sin perder demasiada mucosidad. La pesca tiene lugar sólo en la esquina de babor de la popa del barco y los peces se marcan en la esquina de estribor de la popa y en la esquina de babor, a unos 4 metros delante de la popa. El acolchado horizontal se eleva ligeramente con acolchado extra en la esquina de babor de la popa, para que aproximadamente las mismas cantidades de peces se deslicen hacia las dos posiciones de marcado. Los peces se colocan en cunas planas con el morro contra un tope para que puedan medirse con precisión. Tras su marcado y medición, los peces que están en la esquina estribor de popa se deslizan al mar a través de una puerta pequeña practicada en la defensa de estribor del barco y los peces que se encuentran en la banda de babor se deslizan por encima de la barandilla.

Este método se ha empleado también para los peces pescados con cerco y barcos de cebo, demasiado grandes para las cunas que a continuación se describen. Si bien es el mejor método de marcado de túnidos pescados con cerco, la permanencia en la red les daña y las tasas de recuperación suelen ser bajas.

### Método de la cuna

Es el método más empleado en el marcado de túnidos. Básicamente existen dos tipos de cunas: las que pueden contener un solo pez y las que pueden contener más de uno, que se denominarán aquí, cuna pequeña y cuna grande, respectivamente.

La cuna pequeña (Wilson, 1953; Fink, 1965) es en esencia un pesebre en forma de V, que suele ser de aluminio, cerrado en un lado o en ambos lados (**Figura 4.6.2**). Va acolchado y recubierto de material plástico blando. El pez se coloca en la cuna, se extrae el anzuelo y el pez se marca y después se lanzan al mar. Las marcas se colocan lejos de la cuna para que el pez no las golpee en su lucha. Los costados de la cuna mantienen al pez en su posición y también reducen en parte sus movimientos. Es importante que el acolchado esté recubierto de un material blando, ya que Bayliff (1973) demostró que las tasas de recuperación eran más altas en el caso de peces marcados en cuna recubiertas que en las de aquellos marcados en cunas que no lo estaban. En algunos casos, las cunas pequeñas están sujetas firmemente a alguna parte del barco, por lo general a la barandilla, y en otros casos no están sujetas y se colocan a un lado cuando no se usan.

Las cunas grandes (Kearney *et al.*, 1972; Kearney y Gillet, 1982) son mejores que las pequeñas, ya que es más sencillo trasladar el pez del anzuelo a la cuna sin dejarlo caer sobre cubierta. Los peces se pueden también almacenar momentáneamente en la parte ancha de la cuna cuando, por breves momentos, el ritmo de entrada de los peces es más rápido que el del marcado. Pero las cunas grandes necesitan más espacio a bordo que las pequeñas y además no se pueden quitar de en medio con tanta facilidad cuando no están en uso. Por regla general, las cunas pequeñas son útiles cuando el espacio es limitado y los peces a marcar son pocos, pero en experimentos a gran escala son preferibles las cunas grandes.



**Figura 4.6.2.** Método de la cuna pequeña empleado en la popa de un barco de caña-liña con cebo vivo durante una campaña de marcado de patudo de la IATTC (facilitado por Kurt Schaefer)

#### *Método del tobogán*

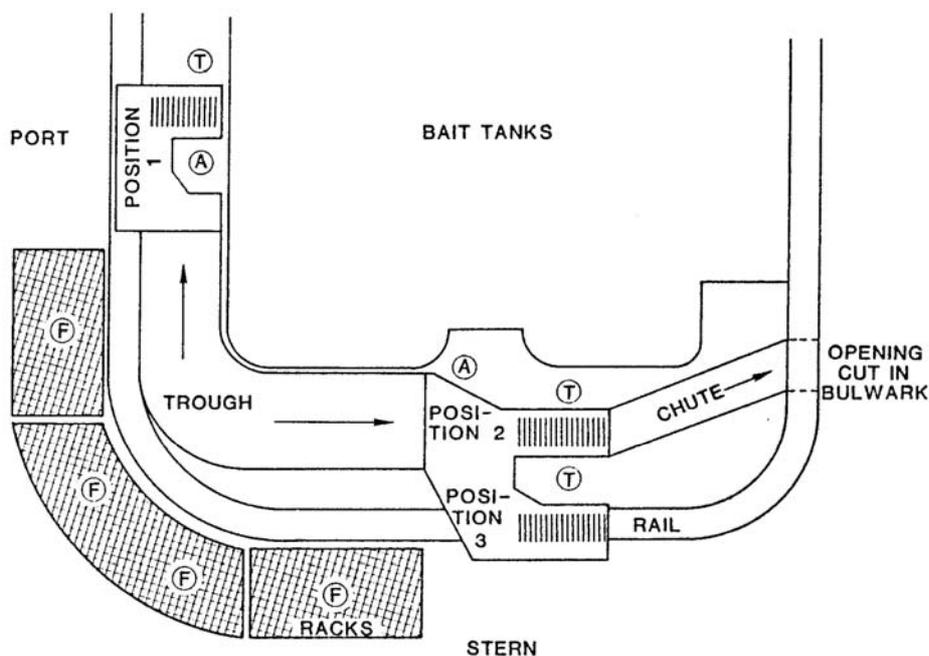
Los científicos del US National Marine Fisheries Service, La Jolla, California (EE.UU.) han modificado las cunas pequeñas para marcar atún blanco:

Se coloca un tobogán de unos 90 cm de largo en la base de la parte delantera de la cuna con una bisagra y el bloque delantero de la cuna se une al resto de la misma con un solo pivote, con el fin de poderlo levantar para permitir que el pez se deslice desde la cuna hasta el tobogán. Tras marcar el pez, en lugar de levantarlo y lanzarlo por la borda, el bloque delantero se levanta y el pez se desliza al agua por el tobogán que está inclinado hacia abajo. Esto hace que la operación de marcado sea más rápida y el pez se manipula durante menos tiempo, y además impide que este pez ya marcado caiga sobre cubierta tal como ocurría en ocasiones cuando las cunas no tenían el tobogán. Un factor muy importante es que el pez entra en el agua de cabeza y en dirección a la proa del barco. Antes del empleo de estas cunas modificadas, los peces caían al agua por la popa del barco y en medio del cardumen, lo cual asustaba a los peces, sobre todo si no caían de cabeza (Bayliff, 1979).

La IATTC diseñó un sistema de tobogán más elaborado. Con este sistema los pescadores depositan los peces en pesebres construidos de un material fuerte y suave (por ejemplo, Shelterite) en forma de cañería. Los pesebres están inclinados hacia las cunas para que los peces se deslicen en esa dirección. Las personas que se encuentran junto a las cunas sacan a los peces de los anzuelos y los empujan con la cabeza por delante y de uno en uno dentro de las cunas. Los peces se marcan y después se lanzan al mar (**Figura 4.6.3**). Las principales ventajas de este método son:

1. Los pescadores tienen más espacio donde depositar los peces.
2. El proceso de marcado puede controlarse mejor.
3. El lugar del marcado está bastante alejado del lugar de la pesca, lo que significa que los peces pueden liberarse lejos del lugar donde se capturan.

Las almohadillas, cunas y toboganes están marcados a intervalos de 1 cm para poder medir los peces al tiempo que se marcan. Estas marcas se van borrando con el tiempo, por lo que conviene renovarlas con cierta frecuencia.



**Figura 4.6.3.** Sistema de tobogán empleado por IATTC. Los círculos F, A y T indican la posición de los pescadores, ayudantes y personas encargadas del marcado, respectivamente (De Bayliff y Holland, 1986)

#### 4.6.7 Marcas convencionales

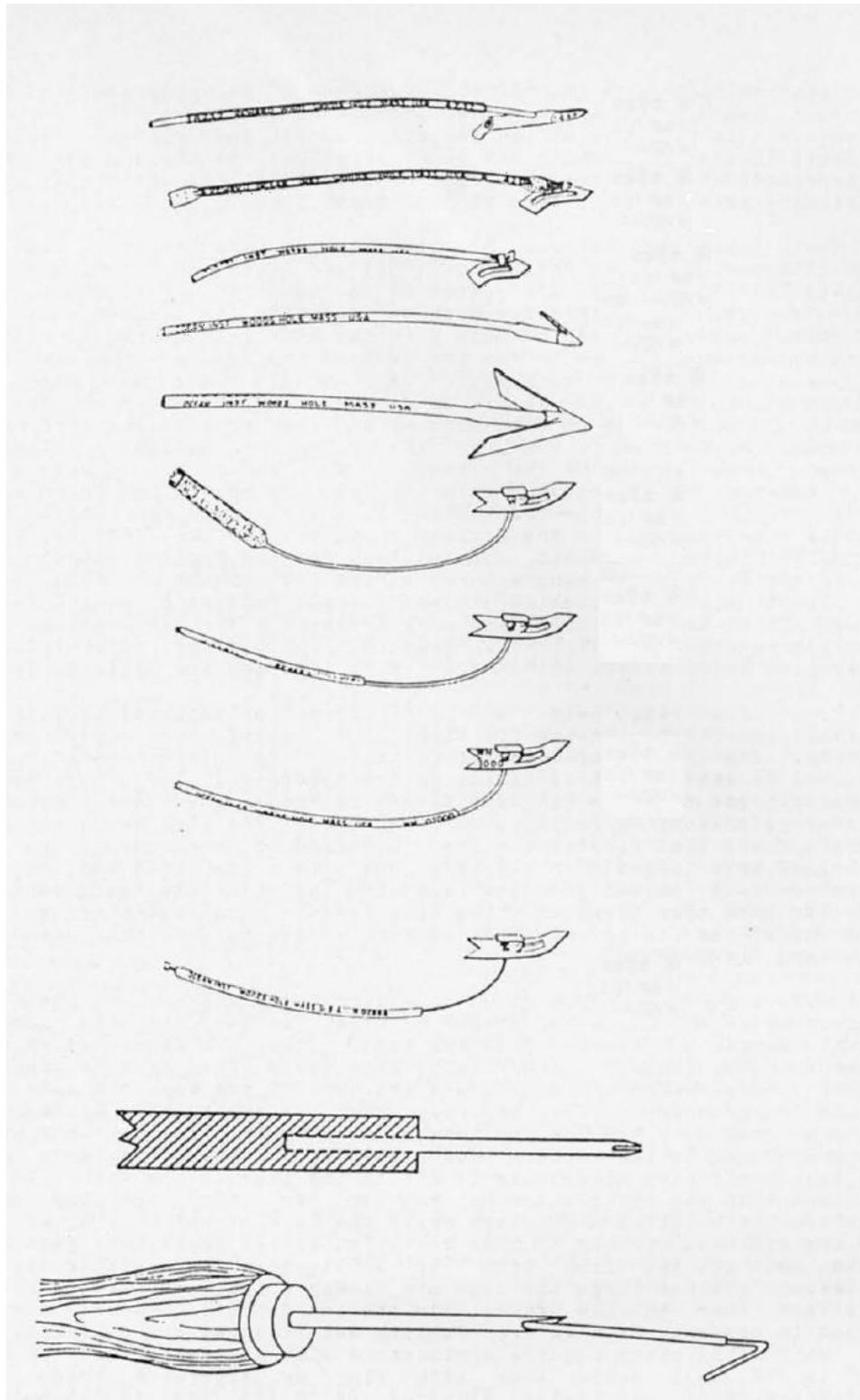
Las marcas convencionales son marcas sencillas y que tienen un número individual y único. Suelen consistir en un tubo de plástico unido a un arponcillo de plástico, nylon quirúrgico o metal (**Figura 4.6.4** y **Figura 4.6.5**). Las marcas suelen llevar la dirección a la cual se deberá devolver la marca (o el pez entero). Podría también indicar la recompensa y otro tipo de información requerida acerca de la recaptura. La mayor parte de las cabezas de las marcas de nylon las fabrica o facilita **Floy Tag Manufacturing Inc.** ([www.floytag.com](http://www.floytag.com), o: 4616 Union Bay Place NE, Seattle, WA 98105, EE.UU., Telf. 206-524-2700, Fax 206-524-8260, Email: [floytag@halcyon.com](mailto:floytag@halcyon.com)) o Hallprint ([www.hallprint.com](http://www.hallprint.com) o por **Hallprint Pty Ltd.**, 15 Crozier Rd. Victor Harbor, South Australia 5211. Tef. (Internacional) + 61 8 8552 3149, Fax (Internacional) + 61 8552 2874, Email: [davidhall@hallprint.com.au](mailto:davidhall@hallprint.com.au))

#### *Marcas, aplicadores y soportes*

Durante la década de los 50 y principios de los 60 los túnidos y marlines se marcaban con marcas en forma de lazo, pero ya se han sustituido por marcas con dardo. El tipo más común tiene una cabeza de nylon con una sola lengüeta. Las marcas suelen ser de 15cm de largo y 2,5 mm de diámetro, si bien se han usado marcas más cortas (7-8 cm) para listado pequeño. Marcas con dardo más largas, con cabezas de nylon o de acero inoxidable son las que se usan para marlines y túnidos grandes a bordo de barcos deportivos. La mayor parte de las marcas se hacen con tubos de vinilo de baja temperatura, provistos de cabezas de nylon. Estos tubos tienden a volverse quebradizos a temperaturas cercanas a la congelación (menos de 4°C). Teniendo en cuenta que algunos barcos congelan su pesca, estas marcas pueden desprenderse y perderse. Para resolver este problema, se han diseñado marcas hechas de tubos de polietileno unidas a cabezas de nylon (Anon., 1986). El polietileno es resistente a la rotura a bajas temperaturas y menos elástico que el vinilo. Esta última cualidad podría ser ventajosa, ya que la marca retendría su configuración que es menos resistente al agua cuando el pez nada en línea recta a su velocidad normal.

Casi todas las marcas son amarillas, si bien se han usado otros colores. Los datos presentados por Broadhead (1959) y Blunt y Messersmith (1960) señalan que las marcas amarillas son más fáciles de ver que las rojas, azules, blancas o transparentes. Los peces inyectados con tetraciclina (véase más adelante) han sido marcados con marcas amarillas con puntas rojas o bien con marcas rojas o marcas naranjas internacionales, para que quienes las recuperen sepan que los peces tienen un especial interés. Las marcas deberán portar el nombre del organismo al que se han de devolver y los códigos oportunos. Estos códigos estarán impresos a ambos extremos de la marca, para que la información tenga más posibilidades de mantenerse si la marca se rompe cuando se devuelve. La mayor parte de las marcas tiene un código de cinco dígitos (100.000 combinaciones posibles), una

letra y cuatro dígitos (260.000 combinaciones posibles para el alfabeto inglés), o bien dos letras y cuatro dígitos (6.760.000 posibles combinaciones con el alfabeto inglés). El fabricante suele enviarlas separadas en grupos de 100, grupos que casi siempre se asignan a diversas personas encargadas del marcado en la mar. Resulta menos confuso y más adecuado para los análisis por computador si estos grupos contienen, por ejemplo, A0000-A0099, A0100-A0199. etc., en lugar de A0001-A0100, A0101-A0200. etc. (Kearney y Gillett, 1982).



**Figura 4.6.4.** Varios tipos de marcas convencionales y aplicadores de marcas usados en el marcado de túnidos y especies afines (de Bayliff y Holland, 1986. Reproducido con permiso de FAO).



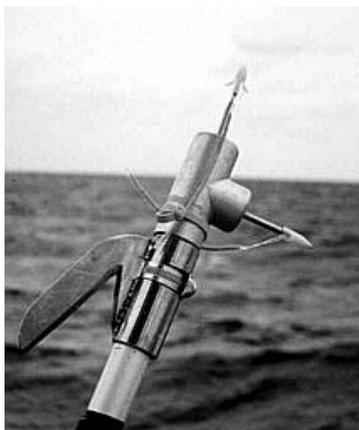
**Figura 4.6.5** Marca-dardo de acero inoxidable. Marca A (arriba) y marca-dardo de nylon con doble lengüeta hidrocópica. Marca B (abajo) utilizada en el estudio de marcado doble para evaluar la retención de los dos tipos de marcas en los marlines (1990-1999). Reproducida de Prince *et al.* (2002) con permiso de los autores.

De acuerdo con Mather *et al.* (1974) las cabezas de metal son mejores que las de nylon, cuando se emplea el método de marcado dentro del agua. Sin embargo, Prince *et al.* (2002) recomiendan el uso de marcas-dardo de nylon con doble lengüeta, para peces grandes, ya que las tasas de retención de las mismas son más altas. Ortiz *et al.* (2003), que revisaron los resultados de los 5 programas principales de marcado oportunista de marlines, descubrieron que la retención del arponcillo de nylon quirúrgico era superior en comparación a la marca-dardo de acero inoxidable. No obstante y a pesar de todo, este tipo de marca está menos adaptada a las operaciones masivas de marcado realizadas sobre los túnidos tropicales y provoca mayor mortalidad justo después del marcado (Gaertner *et al.* 2004).

Las marcas-dardo del tipo que muestra la **Figura 4.6.4** y **Figura 4.6.5** se colocan en los peces con aplicadores que consisten en piezas de acero (tubos o compactas) ligeramente más largas y/o de mayor diámetro que las mismas marcas. Como se observa en la figura tienen la punta afilada. Las cabezas que se compran en el comercio suelen tener un indentado en el extremo afilado para acomodar la lengüeta de la marca, pero esto no parece necesario. Es importante que los aplicadores sean más largos que las marcas, ya que de no ser así las marcas no se ajustarán totalmente en el interior cuando se almacenan antes de su uso, y las cabezas se truncarán al intentar introducirlas en el pez.

Es importante también que el diámetro de los aplicadores no sea demasiado grande ni demasiado pequeño. Si son demasiado pequeños las marcas no se pueden deslizar enteramente dentro de los aplicadores y si son ligeramente pequeños, las marcas se desprenderán del pez al retirar los aplicadores. En el caso de que estos aplicadores sean demasiado grandes, las marcas se caerán cuando se intente adherirlas al pez. Sin embargo, en este último caso se pueden doblar para impedir que las marcas se caigan (Kearney y Gillet, 1982). Se sugiere que la organización que tiene el proyecto de marcar túnidos o marlines por primera vez, encargue las marcas y aplicadores al mismo fabricante para asegurar que dichas marcas se ajustan a los aplicadores.

Prince *et al.* (2002), recomiendan el uso de una vara de marcado con aplicador doble (**Figura 4.6.6**) para el marcado efectuado en el agua, porque estos aplicadores tienen un ángulo de entrada más flexible lo que resulta conveniente en el caso de que el pez se gire y se ponga de lado.

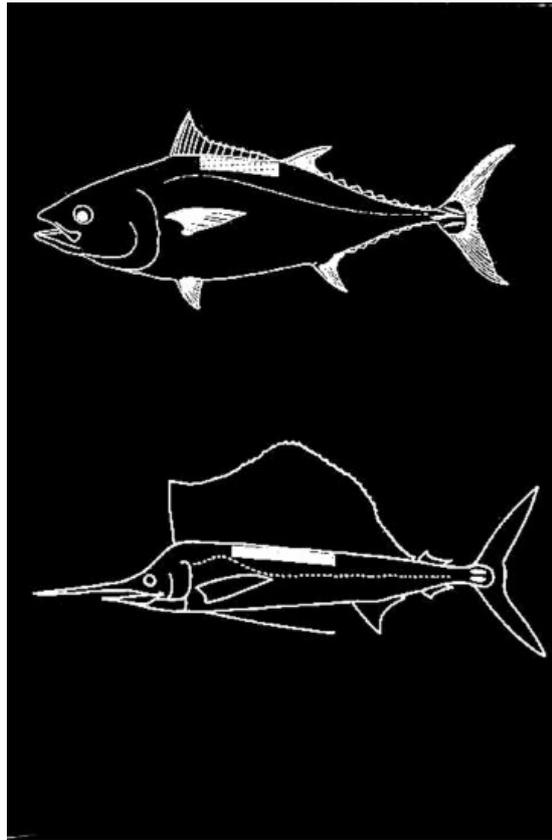


**Figura 4.6.6.** Vara de marcado con aplicador doble. (Facilitado por Eric Prince, NOAA).

#### **4.6.8 Procedimiento de marcado**

Para minimizar la pérdida de marcas, cada una de ellas se insertará en la musculatura del dorso, con la suficiente profundidad para que las lengüetas pasen entre los pterigióforos bajo la base de la segunda aleta dorsal en los túnidos y en la corba detrás de la cabeza o cerca de la base de la primera aleta dorsal en los marlines (**Figura 4.6.7**). Lo ideal es que la marca esté posicionada en un ángulo de 45° ó menos, con respecto al eje del pez para que ofrezca la mínima resistencia al agua. La marca no deberá insertarse a una profundidad que pueda dañar innecesariamente el tejido. Una vez insertada la marca, sólo se debe ver el tubo o la cápsula. Una vez adquirida la necesaria experiencia, la persona que efectúa el marcado debería sentir cuando la lengüeta ha pasado entre los pterigióforos. Hay diferentes opiniones respecto a las tasas de pérdida de marcas (Bayliff, 1973; Prince *et al.*, 2002), lo cual indica la importancia de colocar la marca con cuidado y de entrenar adecuadamente a los encargados de colocarlas. (Véase más adelante al tratar sobre el doble marcado).

Antes de su uso las marcas se insertarán en los aplicadores. Cuando sea necesario marcar muchos peces en poco tiempo, los aplicadores con marcas se pueden almacenar en grupos de 100 en soportes hechos de tela (Wilson, 1953) o madera (Fink, 1965; Bayliff, 1973; Kearney y Gillett, 1982). Los departamentos o agujeros en los soportes están numerados de 00 a 99 y las marcas han de coincidir con estos números. Los soportes de telas son adecuados para el marcado a pequeña escala, como se hace en un barco de curricán o en un barco deportivo, pero los soportes de madera son preferibles en el marcado a gran escala. Antes de la pesca se preparan hasta 30 soportes con marcas. Las puntas afiladas de los aplicadores quedan al descubierto, por lo que todos los soportes excepto los que se van a usar en primer lugar, se almacenan en cajas de madera (abiertas por un lado, pero no por su parte superior) de las que se podrán extraer con facilidad.



**Figura 4.6.7.** Zona objetivo (rectángulos) para marcar a los túnidos (arriba) y marlines (abajo) recomendada por el Southeast Fisheries Science Center's Cooperative Tagging Center. Las marcas deben colocarse por encima de la línea lateral, lejos de la cabeza y otros órganos vitales que se encuentran en la musculatura dorsal. Reproducido con permiso de los autores (Prince *et al.* 2002)

#### *Equipo de anotación y materiales*

Se anotarán los datos correspondientes a cada marca aplicada (posición, fecha, especie, talla, comentarios sobre la condición del pez, etc.). Más adelante se presenta una lista de los datos que suelen consignarse. En ocasiones, se marca un gran número de peces en poco tiempo a bordo de barcos de cebo (también cerqueros), por lo que es imprescindible que todo esté siempre bien organizado. El marcado es un proceso mucho más lento a bordo de otro tipo de barcos, por lo que no se requiere tanta organización. Antes de iniciar la actividad, se colocará el número adecuado de marcas y aplicadores en los soportes. En la extremidad de cada soporte se puede poner un trozo de cinta adhesiva con el número de serie de la marca escrito encima, para poder escoger rápidamente la serie con el código más bajo y anotar la serie que se está aplicando sin tener que sacar una de las marcas del aplicador. Los soportes estarán colocados en cajas cerca de las cunas o lugares de marcado. Las personas que llevan a cabo la operación, si están usando un magnetófono, se asegurarán de antemano que funciona y que tienen cintas suficientes para todo el proceso. Se anotará la posición, fecha, tiempo, cuna o lugar de marcado, etc. Se usarán guantes de algodón o lana para proteger las manos de cortes y para que resulte más fácil sostener los peces. Cuando se marcan muchos peces, las personas que realizan la operación suelen acabar con ampollas o erupciones en las manos; esto se puede evitar usando unos guantes de goma finos debajo de los de algodón o lana. Justo antes de iniciar el marcado, las cunas o los toboganes se rociarán con agua y los guantes se empaparán bien.

Datos que pueden incluirse en un registro de liberación-recaptura de un pez marcado.

*Datos de liberación*

- Número del crucero
- Código de marca Tipos de marca, especie, situación
- País en el cual se libera y arte utilizado
- Fecha
- Hora del día
- Talla
- Temperatura del mar en superficie
- Persona que coloca la marca
- Puesto o cuna
- Inyectado o no inyectado con tetraciclina
- Condición del pez

*Datos de recuperación*

Cuando se recupera una marca se debe dar la siguiente información:

- La especie
- El número(s) en la marca
- La fecha y lugar donde se pescó y arte de pesca empleado
- La talla (longitud)y/o peso del pez, incluyendo el tipo de medición
- Si es posible, sexo e información sobre el tipo de pesca (por ejemplo, banco libre, DCP, tiburón-ballena, etc.)

Las recuperaciones de marcas pueden enviarse a la Secretaría de ICCAT o a los corresponsales de marcado de ICCAT(ver [www.iccat.int/tagging.htm](http://www.iccat.int/tagging.htm))

NOTA: Para extraer una marca archivo, se practicará una incisión de 15 cm en la cavidad ventral, enfrente de la zona donde el sensor se introduce en el pez. La marca archivo plateada o blanca (con sensor luminoso adjunto) se extraerá a mano. NO EXTRAER LA MARCA ARCHIVO TIRANDO DEL SENSOR LUMINOSO. Lavar la marca con agua y almacenarla a temperatura ambiente.

Datos adicionales que resultaría útil anotar en la recaptura incluyen:

- Sexo
- Condición cuando se mide (fresco, congelado, descongelado tras su congelación, etc.)
- Barco
- Actividad durante la cual se recuperó (pescando, descargando un pesquero, descargando un barco congelador, al despedazar el pez. etc.)
- Puerto de retorno
- Situación de la regulación
- Persona que se ocupa de los datos de recuperación

Lo más común es anotar las tallas de los peces en centímetros completos; la IATTC los suele anotar al centímetro más próximo y las organizaciones que participan en el programa de marcado de ICCAT lo hacen al centímetro inferior más cercano (es decir, las tallas de 60,0 a 60,9 cm se anotan como 60 cm).

#### *Marcado doble*

Se hace marcado doble por al menos tres razones. En primer lugar, se puede obtener información sobre los efectos del marcado sobre la mortalidad y el crecimiento comparando las tasas de recuperación y las tasas de crecimiento de peces con una marca y con dos marcas, por ejemplo, si las tasas de recuperación o las tasas de crecimiento de peces con dos marcas son inferiores a las de los peces con una sola marca, es probable que las marcas obren en detrimento de ambos (IATTC/CIAT, 1984:31-32). En segundo lugar, la comparación de las tasas de recuperación de peces con una sola marca con las de los peces doblemente marcados que han conservado una o las dos marcas, permite estimar las tasas de pérdida de las mismas (Bayliff y Mobrand, 1972; Laurs *et al.*, 1976; Baglin *et al.*, 1980; Kirkwood, 1981; Wetherall, 1982; Xiao, 1996; Adam y Kirkwood, 2001, Prince *et al.* 2002). Conviene observar que la estimación independiente de las tasas de pérdida de marcas basada en experimentos de marcado doble es parte integral de un experimento de marcado bien diseñado. En tercer lugar, es frecuente obtener un mayor número de recuperaciones, en especial en el caso de peces que han permanecido mucho tiempo en libertad, cuando estos peces han sido doblemente marcados. (Hynd, 1969; Bayliff, 1973). El *Southeast Fisheries Science Center's Cooperative Tagging Center*, junto con el Programa de Marcado de la Fundación para los Marlines, ha llevado a cabo un marcado doble de istiofóridos y pez espada para probar la retención de los dos tipos de marcas (Prince *et al.* 2002). Este programa recomendaba insertar una marca en ambos lados del pez para una mayor visibilidad. No obstante, esto no es siempre posible, tal y como se aprecia en la **Figura 4.6.8**.



**Figura 4.6.8** Marca-dardo de nylon con doble lengüeta hidros cópica (izquierda) y marca-dardo de acero inoxidable (derecha) utilizadas para hacer un marcado doble de marlines, como esta aguja azul, para evaluar la retención relativa de los dos tipos de marcas. Reproducido con permiso de los autores (Prince *et al.* 2002).

IATTC ha realizado marcado doble de un gran número de ejemplares de rabil y de un menor número de listado y de atún rojo del norte. Las marcas se colocan en costados opuestos del pez, una de ellas más adelantada en 1 cm con respecto a la otra. La persona encargada de colocar la marca no intentará insertar ambas simultáneamente, ya que así una, o ambas, podrían quedar demasiado hondas o demasiado superficiales. Las instrucciones son hacer parejas de marcas de forma que la que tenga el número más bajo sea par, es decir, A3900-A3901, A3902-A3903, etc., en lugar de A3901-A3902, A3903-A3904, etc. Los soportes y los formularios de plástico o papel para anotar los datos tienen los números pareados en la forma que se acaba de describir. Esto impide que la persona que marca mezcle los números en el momento de marcar. La Comisión del Pacífico Sur (CPS, 1981) ha efectuado marcado doble de listado, insertando ambas marcas en el mismo costado del pez. Se insertan por separado o simultáneamente.

#### **4.6. 9 Bibliografía**

ADAM, M.S. and G.P. Kirkwood (2001). Estimating tag-shedding rates for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, off the Maldives. Fish. Bull. 99: 193-196.

- ANON. (1986). Wide range of tags made in Australia. *Aust. Fish.*, 44(7):32-3.
- BAGLIN, R.E., Jr., M.I. Farber, W.H. Lenarz, J.M. Mason, Jr. (1980). Shedding rates of plastic and metal dart tags from Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thunnus*. *Fish. Bull. NOAA/NMFS*, 78(1):179-85.
- BAYLIFF, W.H. (1973). Materials and methods for tagging purse seine and baitboat-caught tunas. *Bull. I-ATTC/Bol. CIAT*, 15(6):463-503.
- BAYLIFF, W.H. (1979). Memorandum to the members of the FAO Working Party on tuna and billfish tagging in the Pacific and Indian Oceans, February 27, 1979 (mimeo).
- BAYLIFF, W.H. and K.N. Holland (1986). Materials and methods for tagging tuna and billfishes, recovering the tags and handling the recapture data. *FAO. Fish. Tech. Pap.* (279):36p
- BAYLIFF, W.H. and L.M. Moberg (1972). Estimates of the rates of shedding 167 of dart tags from yellowfin tuna. *Bull. I-ATTC/Bol. CIAT*, 15(5): 439-62.
- BLOCK, B.A., H. Dewar, T. Williams, E.D. Prince, C. Farwell, and D. Fudge (1998a). Archival tagging of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus thynnus*). *Mar. Technol. Soc. Journal*. 32(1): 37-46.
- BLOCK, B.A., S.L.H. Teo, A. Walli, A. Boustany, M.J.W. Stokesbury, C.J. Farwell, K.C. Weng, H. Dewar and T.D. Williams (2005). Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature*, 434, 1121-1127.
- BLUNT, C.E., Jr., and J.D. Messersmith (1960). Tuna tagging in the eastern tropical Pacific, 1952-1959. *Calif. Fish. Game*, 46(3): 301-69.
- BROADHEAD, G.C. (1959). Techniques used in the tagging of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean during 1955-1957. *Proc. Gulf Carib. Fish. Inst.*, 11:91-7.
- FINK, B.D., (1965). A technique, and the equipment used, for tagging tunas caught by the pole and line method. *J. Cons. CIEM*, 29(3):335-9.
- FINK, B.D. and W.H. Bayliff (1970). Migrations of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean as determined by tagging experiments, 1952-1964. *Bull. I-ATTC/Bol. CIAT*, 15(1):227 p.
- GAERTNER, D., J.P. Hallier and M.N. Maunder (2004). A tag attrition model as a means to estimate the efficiency of two types of tags used in tropical tuna fisheries. *Fishery Research*, 69: 171-180
- GRAVES, J. P., B.E. Luckhurst and E.D. Prince. 2002. An evaluation of pop-up satellite tags to estimate post-release survival of blue marlin (*Makaira nigricans*). *Fishery Bulletin*, Vol. 100(1): 134-142.
- GUNN, J., T. Polacheck, T. Davis, M. Sherlock, and A. Betlehem (1994) The development and use of archival tags for studying the migration, behaviour and physiology of southern bluefin tuna, with an assessment of the potential for transfer of the technology to groundfish research. *ICES CM 1994/Mini: 2.1* (21)
- HYND, J.S. (1969). New evidence on southern bluefin stocks and migrations, 1969. *Aust. Fish.*, 28(5):26-30.
- KEARNEY, R.E. and R.D. Gillett (1982). Methods used by the skipjack Survey and Assessment Programme for tagging skipjack and other tuna. *Tech. Rep. Skipjack Surv. Assess. Programme S. Pac. Comm.*, (7):21-43
- KEARNEY, R.E., A.D. Lawis and B.R. Smith (1972). Cruise report Tagula 71-1 survey of skipjack tuna and bait resources in Papua New Guinea waters. *Res. Bull. Dep. Agric. Stock Fish. Port Moresby* (8):145 p.
- KIRKWOOD, G.P. (1981). Generalized models for the estimation of rates of tag shedding by southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *J. Cons. CIEM*, 39(3):256-60.
- LAURS, R.M., W.H. Lenarz and R.N. Nishimoto (1976). Estimates of rates of tag shedding by north Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. *Fish. Bull. NOAA/NMFS*, 74(3):675-8.
- MATHER, F.J. III, D.C. Tabb, J.M. Mason, Jr., H.L. Clark (1974). Results of sailfish tagging in the western North Atlantic Ocean. *NOAA Tech. Rep. NMFS (Spec. Sci. Rep.-Fish. Ser.)*, (675): 194-210.
- METCALFE, J.D. (2001). Summary report of a workshop on daylight measurements for geolocation in animal telemetry. "Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries" *Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries*, Vol 1. (J. Sibert and J. Nielsen, eds.) Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands. pp 331-342.

- METCALFE, J.D., G.P. Arnold and R.A. McDowall (2002). Migration. Chapter 8, In: Handbook of Fish Biology and Fisheries Vol. I. (P.J.B Hart and J.D Reynolds, eds.). Blackwell Science. pp 175-199.
- MIYAKE, P.M. (1990). History of the ICCAT tagging program, 1971-1986. American Fisheries Society Symposium 7: 746-764.
- NRC (1994). An assesment of Atlantic blufin tuna. Washington, D.C.:National Academy, 148 pp.
- ORTIZ, M., E.D. Prince, J.E. Serafy, D.B. Holts, K.B. Davy, J.G. Pepperell, M.B. Lowry and J.C. Holdsworth. (2003). A global overview of the major constituent-based billfish tagging programs and their results since 1954. *Marine and Freshwater Research* 54: 489-507.
- PRINCE, E.D. and J.L. Cort (1997). Development of an Atlantic-wide archival tag recovery program under the auspices of ICCAT. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 46(4): 468-471.
- PRINCE, E.D., M. Ortiz, A. Venizelos and D.S. Rosenthal. (2002). In-water conventional tagging techniques developed by the Cooperative Tagging Center for Large, Highly-migratory Species. American Fisheries Society Symposium 30: 155-171.
- PRINCE, E.D. and C.P. Goodyear (2006). Hypoxia based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fisheries Oceanography*. 15(6): 451-464.
- SPC (South Pacific Commission) (1981). Effects of skipjack tagging procedures on subsequent tag recoveries. South Pacific Commission, Thirteenth Regional Technical Meeting on Fisheries, Working paper (8):15 p. (mimeo).
- THORSTEINSSON, V. (2002). Tagging Methods for Stock Assessment and Research in Fisheries. Report of a Concerted Action FAIR CT.96.1394 (CATAG). Reykjavik. Marine Researsch Institute Technical Report (79). Pp 179.
- WETHERALL, J. (1982). Analysis of double-tagging experiments. *Fish. Bull. NOAA/NMFS* 80 (4): 687-701.
- WILLIAMS, K. (1992). The tagging technique. *Aust. Fish.* 51(6): 15-17.
- WILSON, R.C. (1953). Tuna marking, a progress report. *Calif. Fish Game*, 39(4):429-42.
- XIAO, Y. (1996). A general model for estimating tag-shedding rates and tag interactions from exact or pooled times at liberty for a double tagging experiment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(8): 1852-1861.
- YAMASHITA, D.T. and K.D. Waldron (1958). An all-plastic dart-type fish tag. *Calif. Fish Game*, 44(4): 311-7.

#### **4.7 Mercado con marcas electrónicas**

El marcado convencional es muy útil para observar en conjunto las pautas de movimiento de la población (por ejemplo, la situación en el marcado y en la captura), pero éste método no facilita información a escalas temporales finas (es decir, donde fue el pez tras su liberación y recaptura) o cualquier otro detalle sobre el comportamiento individual. También, los movimientos de la población que se derivan de los estudios del marcado convencional se apoyan en que los pescadores comerciales y deportivos informen acerca de la hora y la posición de la recaptura de peces marcados. Por lo tanto, los resultados de tales estudios son inevitablemente una composición del comportamiento de los peces y de la actividad pesquera y esto produce confusión en cualquier análisis de movimientos de población. Los datos de marcado pueden ajustarse respecto a las variaciones espaciales en el esfuerzo de pesca, cuando el dato se conoce, pero los movimientos de los peces en zonas no explotadas o no explotables, o los cambios en el comportamiento de los peces, lo cual altera la disponibilidad o la capturabilidad, no son cosas que se puedan explicar con facilidad. Las marcas electrónicas proporcionan información más detallada y amplia, lo cual facilita una mejor comprensión de la biología de los túnidos, necesaria para una evaluación y ordenación eficaces.

##### **4.7.1 Marcas acústicas**

Desde finales de los años 60 ha aumentado el uso de las marcas electrónicas, que transmiten señales acústicas (las señales por radio no se transmiten bien a través del mar), para seguir los movimientos de los peces durante períodos limitados. Con ellas se han logrado importantes avances en el conocimiento del comportamiento de los túnidos y otros grandes pelágicos (Yuen, 1970; Carey y Lawson, 1973; Laurs *et al.*, 1977; Carey y Robinson, 1981, Brill *et al.* 1993). Pero se trata de una técnica limitada porque, en la mayor parte de las aplicaciones, solo se puede seguir un pez a la vez, cada pez puede seguirse durante un corto período (a veces tan sólo unos días) y las actividades en la mar a bordo de barcos de investigación resultan caras. Más recientemente, avances sustanciales en la tecnología microelectrónica han permitido el desarrollo con éxito de un sistema de “almacenaje de datos electrónico y de marcas “archivo” lo suficientemente pequeñas para colocarlas en un pez.

##### **4.7.2 Marcas archivo**

Las marcas archivo registran y almacenan datos ambientales y de comportamiento y, dado que no es necesario que los peces sean observados por personas, hacen posible el seguimiento del comportamiento y los movimientos de muchos peces simultáneamente y durante períodos más largos que pueden incluir importantes migraciones. Actualmente se usa un cierto número de dispositivos para estudiar los movimientos de los túnidos (Gunn 1994, Gunn *et al.* 1994, Block *et al.* 1998a, Gunn y Block 2001), marlines (Graves *et al.*, 2002; Kerstetter *et al.*, 2003; Prince *et al.* 2005; Prince y Goodyear 2006) y otros grandes pelágicos.

Si bien la mayor parte de estas marcas en la actualidad sólo miden las variables ambientales tales como la presión (profundidad) temperatura (interna y externa) y la luz diurna ambiental, estos datos pueden sin embargo aplicarse para obtener información bastante detallada sobre la posición y los movimientos del pez. En alta mar, los registros de la luz diurna pueden usarse para deducir estimaciones de la longitud (basándose en la hora local del mediodía) (Hill 1994, Gunn *et al.* 1994, Metcalfe, 2001) y latitud (basándose en la duración del día y/o la temperatura del mar en superficie (Hill 1994, Gunn *et al.* 1994, Metcalfe, 2001, Block *et al.*, 2005, Teo *et al.*, 2004). El desarrollo de nuevos sensores a bordo que pueden llevar a cabo el seguimiento de variables más complejas, tales como el rumbo, velocidad de desplazamiento, oxígeno disuelto o actividad trófica, contribuirán mucho a un mejor conocimiento de los movimientos, migraciones y ecología de los túnidos y otras especies pelágicas.

##### **4.7.3 Marcas archivo implantables**

Aunque la capacidad de almacenaje de datos de las marcas-archivo es alta, su principal limitación es la necesidad de recuperar el pez para acceder a los datos. Esto requiere la colocación de un gran número de marcas en especies con una alta tasa de explotación. Además, la naturaleza multinacional de casi todas las pesquerías oceánicas complica la coordinación de la recuperación de marcas-archivo. Recientemente se han colocado marcas-archivo en atún rojo atlántico (Block *et al.*, 1998a), pero un gran número de datos no se recuperan hasta pasados algunos años. Las marcas por satélite (sujetas al animal) han servido para estudiar los movimientos a gran escala y la fisiología de mamíferos marinos, pájaros y tortugas marinas (Block *et al.*, 1998b). Estas marcas se han colocado con éxito en tiburones ballena (Priede, 1984), pero sólo se pueden aplicar a los peces pelágicos de mayor tamaño que frecuentan las aguas de superficie.

#### 4.7.4 Marcas archivo pop-up por satélite colocadas externamente

Para evitar estos problemas y aumentar la probabilidad de recuperar datos, se ha desarrollado la marca “pop-up”. Estas marcas son externas y tienen un mecanismo de liberación que hace que la marca se suelte en un momento determinado de antemano y suba a la superficie donde los datos se recuperan por el sistema ARGOS instalados en satélites de la NOAA de órbita polar. Las marcas “pop-up” de primera generación proporcionaban muy pocos datos: la posición de subida a la superficie determinada por ARGOS y unos pocos datos ambientales (por lo general la temperatura del mar). Por lo tanto, estas marcas facilitan una medida, independiente de la pesquería, de la distancia en línea recta recorrida desde el punto de marcado. Recientemente se han fabricado marcas “pop-up” que registran la temperatura, la profundidad y luz diurna ambiental, que pueden reducirse (por ej. como histogramas de hora/profundidad y hora/temperatura, datos de profundidad/temperatura) en la misma marca antes de transmitirlos. Estos dispositivos se están colocando ahora en túnidos (Block *et al.*, 1998b, Lutcavage *et al.*, 1999). Aunque actualmente la capacidad de transmisión de datos es muy limitada, se están consiguiendo adelantos en este campo que prometen mucho mejores resultados en el futuro y además, una progresiva miniaturización permitirá aplicar esta tecnología a especies de pequeño tamaño. En ocasiones, cuando se recupera físicamente la marca “pop-up”, bien porque el pez ha sido recapturado antes de que la marca se desprenda o bien porque dicha marca ha llegado a la orilla y alguien la ha encontrado, se pueden recuperar los datos de profundidad y temperatura que han sido registrados minuto a minuto.

#### 4.7.5 Métodos de colocación de marcas electrónicas

##### *Colocación externa de marcas electrónicas (acústicas o archivo)*

Se han empleado tres métodos de colocación de marcas externas en peces pelágicos: la técnica del “arpón”, la inserción estomacal y las suturas intramusculares. La técnica del arpón se ha llevado a cabo con éxito en las especies grandes (atún rojo, marlín, tiburón, etc.) aunque la mayor parte de los científicos preferirían una técnica más fiable, si es posible desarrollarla. Sin embargo, como se ha indicado para el marcado convencional, este método se ha vuelto más fiable con la llegada de dispositivos especiales para mantener el control del pez en el costado del barco con el fin asegurar una colocación de la marca precisa, exacta y segura, además de proporcionar oportunidades para la reanimación con el objetivo de lograr una mayor supervivencia de los peces marcados (**Figura 4.6.1**). En este método se usa nylon de monofilamento o una guía de acero inoxidable para fijar el cuerpo de la marca a la punta de un arpón aplastado de acero inoxidable o a un arponcillo de nylon quirúrgico. Para los arponcillos de acero inoxidable o de titanio, la punta se ajusta en una muesca al extremo de la percha (arpón) y el cuerpo de la marca se ata a la percha por medio de cintas elásticas. Esta marca se coloca en el pez introduciendo la punta en la musculatura dorsal o debajo de la piel, se retira la percha y la marca permanece fijada a lo largo del cuerpo del pez. Si el pez se ha traído al costado del barco por medio de un gancho, se corta la guía y se libera el pez (Yuen *et al.*, 1974). Este método se ha empleado con éxito en peces espada en libertad que se han arponeado desde arriba cuando suben a la superficie (Carey y Robinson, 1981). Si bien no se han observado reacciones adversas a este método, el principal problema es la incertidumbre acerca de la fijación y acerca del tiempo que tardará la marca en soltarse. Sin embargo, se han logrado seguimientos de varios días con esta técnica.

La tendencia general en el seguimiento de los túnidos en los últimos años, se inclina hacia la colocación de la marca en la superficie externa del pez por medio de suturas intramusculares. Se aplican dos técnicas. Se han colocado en rabiles por medio de una sutura con hilo de nylon al músculo y los pterigióforos de la aleta anal, dejando que la marca cuelgue por debajo del pez (Carey y Olson, 1982). Otra técnica consiste en el uso de dos suturas para colocar la marca en la superficie dorsal del pez. Se ha usado con éxito en atunes blancos (Laurs *et al.*, 1977) y también para estudiar los desplazamientos del rabil en torno a Oahu, Hawai (Holland *et al.*, 1985). Para ello se iza el pez a bordo del barco y se le inmoviliza en una cuna de marcado forrada de espuma de nylon. Se coloca un paño mojado sobre los ojos del pez para calmarlo mientras se le coloca la marca. Se usan agujas huecas y afiladas para hacer las suturas en la musculatura dorsal y pterigióforos asociados con la segunda aleta dorsal. Se pasa un cordón a través de una lazada en el extremo de la marca y el otro cordón se coloca alrededor de la parte central de la marca para evitar que se bambolee de un lado a otro. Una vez asegurados y recortados ambos cordones, se suelta el pez en el agua. Se han visto rabiles con marcas colocadas con este método nadando normalmente en cautividad y en experimentos prácticos se han obtenido datos coherentes. Por otra parte, un pez portador de un transmisor colocado en el dorso fue recuperado 4 semanas después por un pescador con un señuelo de curricán (Holland *et al.*, 1985). Estos resultados indican que una fijación intramuscular es un método viable con repercusiones mínimas sobre el comportamiento del pez. El principal problema que presenta esta técnica es que el pez se tiene que traer a bordo, lo cual excluiría su uso en peces grandes.

### *Introducción en el estómago*

Se lleva a cabo empujando con cuidado la marca por el esófago hacia el estómago del pez. Se suele hacer por medio de una varilla que se extrae una vez que la marca está en su sitio (Yen, 1970; Carey y Lawson, 1973, Laurs *et al.*, 1977; Dizon *et al.*, 1978). Esta técnica suele funcionar mejor con peces grandes como el atún rojo del norte (Carey y Lawson, 1973). En el caso de especies más pequeñas, como el listado y atún blanco, han surgido problemas debidos a la regurgitación de la marca o la atenuación de la señal (Laurs *et al.*, 1977; Dizon *et al.*, 1978). Naturalmente, cuando la temperatura del estómago es un dato de especial interés (Carey y Lawson, 1973) no hay más alternativa que colocar el transmisor en el estómago.

### *Implantación interna de marcas electrónicas (acústicas o archivo)*

Como en los métodos de colocación externa (excepto con arpón) el pez se ha de izar a bordo y/o inmovilizar en una cuna de marcado. Una vez hecho esto, se practica una incisión de unos 2 cm de largo en la pared abdominal, a unos 5-10 cm por delante del ano y unos 2 cm a la izquierda de la línea central del pez. Se debe tener cuidado en atravesar sólo la dermis y parcialmente el músculo, pero no penetrar la cavidad peritoneal. Se inserta después un dedo enguantado en la incisión y se introduce a través del músculo en la cavidad peritoneal (Block *et al.* 2001 a & b). La marca, que se esteriliza empapándola en una solución de Betadine o similar, se inserta por la incisión en la cavidad peritoneal. Bastarán dos puntos de sutura para cerrar la incisión con una aguja esterilizada y material de sutura (por ej. Ethicon (PDS II) talla 0, corte cp-1, 70 cm). El pez se mide con las marcas pintadas en el forro de la cuna de marcado y se devuelve al mar (Schaefer y Fuller, 2005).

### *Colocación externa de marcas electrónicas (pop-up y archivo)*

Estas marcas se suelen colocar en los túnidos o marlines por medio de un dardo de acero inoxidable, titanio o moldeado en nylon quirúrgico (Block *et al.*, 1998b; Graves *et al.* 2002; Prince *et al.*, 2005; Prince y Goodyear 2006)). El dardo se inserta a unos 10 cm (dependiendo del tamaño del pez) en la base de la segunda aleta dorsal (**Figura 4.6.5**), donde puede fijarse entre los pterigióforos y el tejido conector entre el vientre y la aleta. La marca se conecta a la fijación por medio de un monofilamento de 20-25 cm de largo y 136 kg, sujeto a través de la lazada que se encuentra en el extremo frontal de la marca. La lazada se fija por medio de un alambre delgado de acero inoxidable, que queda expuesto al agua en su parte externa y que se conecta por dentro a una batería. En un momento programado de antemano, una carga de bajo voltaje pasa a través del alambre causando corrosión y desprendimiento. El marcado del pez a bordo dura unos 2 minutos. Si no, los peces se marcan utilizando el método “en el agua” (**Figura 4.6.1**) mientras el barco de marcado se mueve lentamente hacia adelante. Los experimentos realizados en túnidos en cautividad indican que teniendo en cuenta que el cuerpo del pez se estrecha después de la segunda aleta dorsal, las marcas colocadas allí tienen un contacto mínimo con el cuerpo y no estorban los movimientos natatorios.

### **4.7.6 Periodo posterior al marcado y liberación de los peces**

Si no se ha empleado anestesia, el consenso general es que el pez debe devolverse al mar lo antes posible, siempre que el pez parezca estar en condiciones lo suficientemente buenas como para mantener el movimiento hacia delante. Como todos los túnidos pelágicos y los marlines tienen la ventilación forzada por el avance, la capacidad de mantener el movimiento hacia delante es esencial para la función respiratoria y la supervivencia posterior a la liberación. Si el pez muestra signos de estrés (basados en la apariencia física y el color), deben hacerse todos los esfuerzos posibles para reanimar al pez hasta que recupere el vigor y el color. En Prince *et al.* (2002) se describen métodos para la reanimación de túnidos y marlines. Debe anotarse la condición de los peces (actitud en el agua, vigor de los movimientos, etc.) tras la liberación.

### *Antibióticos para prevenir la infección*

Bayliff (1973) roció las puntas de la mitad de los aplicadores y marcas empleadas en un crucero con hidrocortisona equivalente a 3,5 mg por gramo, 1,2 mg por gramo de hidrocortisona y 1200 unidades de polimixina B como sulfato. Las tasas de recuperación de los peces (rabil) con marcas rociadas y sin rociar no fueron muy diferentes. Majkowski (1982) planteó que los ejemplares de atún rojo del sur, *Thunnus maccoyi*, marcados a principios de los años 60 fueron “inyectados con antibiótico para ayudar a combatir el impacto del marcado, la manipulación y la infección”.

### *Inyección de tetraciclina*

En ocasiones se inyectan túnidos y marlines con tetraciclina al tiempo que se marcan para obtener información sobre el significado de las marcas naturales que se forman en varias partes duras (otolitos, vértebras, radios, espinas, etc.) de los peces que sirven para determinar su edad (Antoine y Mendoza, 1986). A este fin se emplea la solución de hidrocloreuro de oxitetraciclina de uso veterinario (100 mg de base de oxitetraciclina como hidrocloreuro de oxitetraciclina por ml). La tetraciclina que ha superado la fecha de caducidad como antibiótico es también ineficaz como marcador. La tetraciclina se incorpora en la periferia de los otolitos (y probablemente otras partes duras) en 24 horas. Cuando se recupera un pez y se examinan los otolitos con luz ultravioleta, se puede ver la marca de tetraciclina y se puede contar el número de marcas naturales entre la marca de tetraciclina y el borde del otolito y compararlo con el tiempo que ha transcurrido entre el marcado y la recaptura.

A continuación se presenta la dosis de tetraciclina aplicada por diferentes autores:

<i>Especie</i>	<i>Talla</i>	<i>Dosis</i>	<i>Referencia</i>
Rabil	42-95 cm (1,5-17,4 kg)	1,25ml	Wild y Foreman, 1980
Listado	41-61 cm (1,3-5,0 kg)	1,25 ml	Wild y Foreman, 1980
Patudo	88-134 cm	5-10 ml	Schaefer y Fuller, 2005
Atún blanco	51-85 cm (3,3-14,7 kg)	1,5 ml	Laurs, <i>et al.</i> 1985

La inyección es intramuscular; los peces pequeños y medianos reciben una sola inyección lateral en la primera aleta dorsal y los grandes dos o tres inyecciones de 1,25 ml en varias partes del cuerpo.

Aparentemente, la inyección de tetraciclina no afecta la supervivencia del rabil o del listado, ya que las tasas de recuperación de peces inyectados y no inyectados no son muy diferentes (Wild y Foreman, 1980). El proceso de la inyección es bastante largo por lo que en general se marcan menos peces.

#### **4.7.7 Bibliografía**

- ANTOINE, L. et J. Mendoza (1986). L'utilisation du rayon de la nageoire dorsale pour l'étude de la croissance et l'écologie du listao. Proc. ICCAT Intl. Skipjack Yr. Prog.: 317-324.
- BLOCK, B.A., H. Dewar, C. Farwell, and E.D. Prince (1998b). A new satellite technology for tracking the movements of Atlantic bluefin tuna. Proceedings National Academy Sciences USA, 95: 9384-9389,
- BLOCK, B.A., H. Dewar, S.B. Blackwell, T.D. Williams, E.D. Prince, C.J. Farwell, A. Boustany, S.L.H. Teo, A. Seitz, A. Walli, A. and D. Fudge (2001a). Migratory movements, depth preferences, and thermal biology of Atlantic bluefin tuna. Science, 293: 1310-1314.
- BLOCK, B.A., H. Dewar, S.B. Blackwell, T. Williams, E. Prince, A.M. Boustany, C. Farwell, D.J. Dau and A. Seitz (2001b). Archival and pop-up satellite tagging of Atlantic bluefin tuna. Pp 65-88 in Sibert, J. and Nielsen, J. (eds.), Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries. Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries, Volume 1, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands.
- BLOCK, B.A., S.L.H. Teo, A. Walli, A. Boustany, M.J.W. Stokesbury, C.J. Farwell, K.C. Weng, H. Dewar and T.D. Williams (2005). Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna Nature 434: 1121-1127.
- BRILL, R.W., D.B. Holts, R.K.C. Chang, S. Sullivan, H. Dewar and F.G. Carey (1993). Vertical and horizontal movements of striped marlin (*Tetrapturus audax*) near the Hawaiian Islands, determined by ultrasonic telemetry, with simultaneous measurement of oceanic currents. Mar. Bio. 117:567-574.
- CAREY, F.G. and K.D. Lawson (1973). Temperature regulation in free-swimming bluefin tuna. Comp. Biochem. Physiol. (A Comp. Physiol.), 44(2): 375-92.
- CAREY, F.G. and R.J. Olson (1982). Sonic tracking experiments with tunas. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 17(2): 458-66.

- CAREY, F.G. and B.H. Robinson (1981). Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. *Fish. Bull. NOAA/NMFS*, 79(2):277-92.
- DIZON, A.R., R.W. Brill and H.S.H. Yuen (1978). Correlations between environment, physiology, and activity and the effects of thermoregulation in skipjack tuna. In the physiological ecology of tunas, edited by Dizon, A.E. and C.D. Sharp, New York Academic Press, pp. 233-59.
- GRAVES, J.P., B.E. Luckhurst and E.D. Prince. (2002). An evaluation of pop-up satellite tags to estimate post-release survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) from a recreational fishery. *Fishery Bulletin*, Vol. 100(1): 134-142.
- GUNN, J. (1994). Smart archival tag comes up trumps for tuna. *Australian Fisheries*. 53: 10-11
- GUNN, J and B. Block (2001). Advances in Acoustic, Archival and satellite Tagging of Tunas. In: TUNA Physiology, Ecology and Evolution. B.A. Block & E.D. Stevens (eds.). Academic Press. San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo.
- HILL, R.D. (1994). Theory of geolocation by light levels. Pp 227-236 in Le Bouef, B.J., and Laws. R.M. (eds.), Elephant Seals: Population Ecology, Behavior, and Physiology, University of California Press, Berkley, CA.
- HOLLAND, K., R. Brill, S. Ferguson, R. Chang and R. Yost (1985). A small vessel technique for tracking pelagic fish. *Mar. Fish. Rev.* 47(4): 26-32.
- HOLLAND, K., R. Brill and R.K.C. Chang (1990a). Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sportfishing gear. *Fishery Bulletin*, U.S., 88: 397-402.
- HOLLAND, K.N., R.W. Brill and R.K.C. Chang (1990b). Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. *Fishery Bulletin*, U.S., 88: 493-507.
- I-ATTC/CIAT (1981). (Inter-American Tropical Tuna Commission/Comisión Interamericana del Atún Tropical). Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, 1980. Annu. Rep. I-ATTC/Inf. Anu. CIAT, (1980):234 p.
- I-ATTC/CIAT (1984). (Inter-American Tropical Tuna Commission/Comisión Interamericana del Atún Tropical). Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission. Informe anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, 1983. Annu. Rep. I-ATTC/Inf. Anu. CIAT, (1983):272 p.
- KERSTETTER, D.W., B.E. Luckhurst, E.D. Prince and J.E. Graves. (2003). Use of pop-up satellite archival tags to demonstrate survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) released from pelagic longline gear. *Fishery Bulletin*, 101:939-948.
- LAURS, R.M., R. Nishimoto and J.A. Wetherall (1985). Frequency of increment formation on sagittae of north Pacific albacore (*Thunnus alalunga*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42(9):1552-5.
- LAURS, R.M., H.S.R. Yuen and J. H. Johnson (1977). Small-scale movements of albacore *Thunnus alalunga* in relation to ocean features as indicated by ultrasonic tracking and oceanographic sampling. *Serv. NMFS*, 75(2):347-55.
- LUTCAVAGE, M.E., R. W. Brill, G.G. Skomal, B.C. Chase, P.W. Howey (1999). Results of pop up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: Do North Atlantic bluefin tuna spawn in the mid Atlantic? *Can J Fish Aquat Sci*; 56, no. 2, pp. 173-177
- MAJKOWSKI, J. (ed.) (1982). CSIRO database for southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii* (Castlenau)). Rep. CSIRO Mar. Lab. (142):23 p.
- METCALFE, J.D. (2001). Summary report of a workshop on daylight measurements for geolocation in animal telemetry. "Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries" Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries, Vol 1. (J. Sibert and J. Nielsen, eds.) Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands. pp 331-342.
- PRIEDE, I.G. (1984). A basking shark (*Cetorhinus maximus*) tracked by satellite together with simultaneous remote- sensing. *Fish. Res.* 2: 201-216.
- PRINCE, E.D., R.K. Cowen, E.S. Orbesen, S.A. Luthy, J.K. Llopiz, D.E. Richardson and J.E. Serafy (2005). Movements and spawning of white marlin (*Tetrapturus albidus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*) off Punta Cana, Dominican Republic. *Fishery Bulletin*. 103: 659-669.

- PRINCE, E.D. and C.P. Goodyear. (2006). Hypoxia based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fisheries Oceanography*. 15(6): 451-464.
- ORTIZ, M., E.D. Prince, J.E. Serafy, D.B. Holts, K.B. Davy, J.G. Pepperell, M.B. Lowry and J.C. Holdsworth (2003). A global overview of the major constituent-based billfish tagging programs and their results since 1954. *Marine and Freshwater Research* 54: 489-507.
- SCHAEFER, K.M. and D.W. Fuller (2005). Behavior of bigeye (*Thunnus obesus*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tunas within aggregations associated with floating objects in the equatorial eastern Pacific. *Marine Biology*. 146: 781-792.
- SEDBERRY, G.R. and J.K. Loefer (2001). Satellite telemetry tracking of swordfish, *Xiphias gladius*, off the eastern United States. *Mar. Biol.* 139: 355-360.
- STEVENS, J. (1996). Archival tagging of sharks in Australia. *Shark News*, (7): 10.
- TAKAHASI, M., H. Okuimina, K. Yokawa and M. Okazaki (2003). Swimming behaviour and migration of a swordfish recorded by an archival tag. *Marine and Freshwater Research*. 54: 527-534.
- TEO, S.L.H., A. Boustany, S. Blackwell, A. Walli, K.C. Weng and B.A. Block (2004). Validation of geolocation estimates based on light level and sea surface temperature from electronic tags. *Marine Ecology Progress Series* 283: 81-98.
- WILD, A. and T.J. Foreman (1980). The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. *Bull. I-ATTC/Bol. CIAT*, 17(7): 507-60.
- YUEN, H.S.H. (1970). Behavior of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, as determined by tracking with ultrasonic devices. *J. Fish. Res. Board Can.*, 27(11): 2071-9
- YUEN, H.S.H., A.E. Dizon and J.H. Uchiyama (1974). Notes on the tracking of the Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. NOAA Tech. Rep. NMFS (Spec. Sci. Rep. Fish. Ser.), (675) 265-8.

#### **4.8 Muestreo relacionado con la madurez**

El conocimiento sobre las pautas de reproducción de los grandes pelágicos, así como las características del crecimiento y mortalidad, definirán en general la capacidad de regeneración que tiene una población. Por ello son de extrema importancia en la ordenación y conservación y para el diseño de modelos fiables con vistas a una evaluación eficaz del stock.

Los grandes pelágicos son, por lo general, reproductores en aguas libres y por ello necesitan de una gran fecundidad a lo largo de su ciclo vital para asegurar el éxito en materia de reproducción. Esto se consigue por medio de una reproducción prolongada, en distintos grados, y una combinación de desoves frecuentes y una fecundidad por fracción de puesta, relativamente alta (Cayré y Farrugio, 1986; Schaefer, 2003). Esta característica biológica hace más complejos los estudios sobre madurez.

El enfoque principal en la evaluación de las pautas de madurez de túnidos y marlines se basa en la recolección de gónadas para hacer estudios histológicos con microscopio. Este método ha resultado ser preciso y además facilita información valiosa, pero es muy trabajoso, caro y letal para los peces. Además, con frecuencia las muestras de gónadas no se pueden obtener porque los túnidos se pueden vender intactos en subasta y los peces espada se evisceran en la mar. Recientemente se han desarrollado métodos químicos para determinar la madurez. Estos métodos se tratan aquí.

##### **4.8.1 Muestreo relacionado con el sexo y la madurez**

La situación y la hora del muestreo dependerán del objetivo del programa. Obteniendo muestras a lo largo de todo el año, se pueden confirmar las pautas temporales en relación con la madurez. Una cobertura temporal más detallada podría confirmar la existencia de ciclos diarios en el desove. Por ejemplo, ciertos estudios han indicado que el desove podría estar sincronizado con el anochecer en algunas especies. Una amplia cobertura espacial podría ayudar a averiguar cuáles son las zonas de desove. Estos factores se han de tener en cuenta al efectuar muestreo para obtener datos de madurez y como elementos necesarios antes de diseñar una campaña de marcado adecuado. La determinación del sexo y la recopilación de ovarios suele depender de que se consigan ejemplares que no hayan sido eviscerados. Esto suele ser difícil en el caso de especies de un alto valor comercial.

Las gónadas se encuentran en el vientre del pez. En peces sexualmente maduros, las gónadas, tanto femeninas como masculinas suelen llenar toda la zona disponible en la cavidad del cuerpo. Los ovarios suelen ser tubulares, rosados/rojizos y de textura granular, mientras que los testículos son aplanados, de color blanco/agrisado y los bordes ventrales suelen ser ondulados. En los marlines, las gónadas masculinas suelen tener una forma y apariencia bastante irregulares, con muchos nódulos en la superficie. El corte transversal de las gónadas masculinas muestra una forma rectangular característica y cuando han llegado a la madurez se ve el esperma. Las gónadas femeninas tienen por lo general una apariencia más pulida y en el corte transversal la gónada es ovalada y en ocasiones tiene un lumen (agujero) en el centro. El peso del pez es otro factor para determinar el sexo de un marlín, ya que los machos de la mayor parte de las especies son mucho más pequeños (como media) que las hembras. Por ejemplo, los machos de aguja azul atlántica rara vez sobrepasan los 100 kg (220 libras), mientras que las hembras pueden alcanzar un peso superior a los 400 kg (880 libras) y es corriente que pesen más de 125 kg (275 libras). En teoría, por lo tanto, no es fácil encontrar machos de aguja azul atlántica de más de 125 kg de peso eviscerado.

En la estimación de talla de madurez y fecundidad, el enfoque adecuado es el muestreo de talla estratificado. Se pueden aplicar gamas de talla comparables a las distribuciones de talla por edad esperadas o bien escalas de tallas inferiores. El plan de muestreo podría tener que modificarse debido a cuestiones financieras, ya que es necesario efectuar muestreo en diferentes temporadas, zonas y años.

Podría ser necesaria una estratificación adicional para compensar el comportamiento del pez, incluyendo la concentración o las migraciones de desove.

Sobre la recopilación de muestras (véase más adelante) conviene señalar los siguientes detalles:

Fecha, barco, especie, talla, peso, sexo, peso de las gónadas, peso de la submuestra de gónadas, situación de la captura (latitud y longitud), tipo de cardumen de túnidos y de asociación y un único número de muestra por pez, una muestra de dicho pez, incluyendo la zona de la gónada muestreada.

Para estimar las proporciones de individuos sexualmente maduros, se deben establecer criterios precisos para establecer el grado de madurez.

#### 4.8.2 Etapas de la madurez

La evaluación visual de ovarios para determinar su madurez se considera un indicador impreciso de la condición reproductora (West, 1990). Se recomienda el uso de métodos histológicos y/o químicos. En la siguiente tabla se presentan escalas (Tabla 4.8.1).

**Tabla 4.8.1.** Etapa de madurez para el examen visual de gónadas de grandes pelágicos.

Etapa	Criterios	
	Machos	Hembras
I	Gónadas pequeñas en forma de cintas, no se puede determinar el sexo a simple vista.	Gónadas pequeñas en forma de cintas, no se puede determinar el sexo a simple vista.
1	<b>Inmaduros;</b> testículos muy delgados, aplastados y en forma de cinta, pero se puede determinar el sexo a simple vista.	<b>Inmaduras;</b> gónadas alargadas, delgadas, pero se puede determinar el sexo a simple vista.
2	Testículos abultados, triangulares en corte transversal, sin esperma en canal central.	<b>Madurez precoz;</b> gónadas abultadas, pero no se observan los óvulos a simple vista.
3	<b>Madurando;</b> el esperma fluye si se presionan o pellizcan los testículos.	<b>Madurez tardía;</b> gónadas abultadas, pero se observan los óvulos a simple vista.
4	<b>Maduros;</b> testículos grandes, el esperma fluye con facilidad.	<b>Maduras;</b> ovarios muy abultados, óvulos translúcidos, que se sacan fácilmente de los folículos o libres en el lumen del ovario.
5	<b>Agotados;</b> testículos flácidos, inyectados de sangre, superficie rojo oscuro, esperma escaso o nulo en canal central.	<b>Agotadas;</b> incluye peces que han desovado recientemente y peces que han desovado antes, restos de óvulos maduros en varios grados de reabsorción y restos de óvulos maduros de 1,0 mm diámetro.

#### 4.8.3 Muestreo histológico y análisis

El muestreo histológico es el que suele aplicarse para comprobar el grado de madurez en las grandes especies pelágicas.

Inmediatamente, tras la captura del pez, se ha de extraer toda la gónada o, si es demasiado grande, secciones transversales de la misma (de 1 cm de grosor). Se meterán en una solución de Bouin, formalina neutral al 10% ó formalina al 4% en agua de mar, para su envío al laboratorio.

Las muestras se deshidratarán en concentraciones de etanol crecientes aclaradas con Histolemon e incrustadas en parafina. Las secciones (5-10  $\mu$ m de grosor) se pueden tomar usando un microtomo. Las secciones se pueden teñir solo con hematoxilinaeosina (hematoxilina de Harris seguido de una contratinción con eosina), o complementado con una tinción tricrómica de Mallory y una reacción de ácido periódico Schiff (Pas), antes de observarlas con microscopio. Se debe especificar el aumento (ocular y objetivo).

Respecto a las hembras, se recomienda el esquema de clasificación de oocitos desarrollado por Hunter *et al.* (1986) (Tabla 4.8.2). Este tipo de clasificación incluye tanto la frecuencia del desove como la probabilidad de que una hembra continúe el desove (en el estado atréptico del ovario). Si se aplican esquemas alternativos (por ej. Corriero *et al.*, 2003, para el atún rojo) se deberán hacer referencias y se detallarán las interpretaciones de las situaciones de madurez e inmadurez.

**Tabla 4.8.2.** Etapas de madurez basadas en examen histológico de ovarios.

Etapa	Madurez	Condición oocitos	Atresia	Comentarios
1	Inmaduro	Mayoría de oocitos en la etapa tardía de diploteno o la etapa temprana perinuclear	Sin atresia	Oocitos densamente agrupados teñidos de oscuro con hematoxilina

2	Inmaduro	Mezcla de oocitos en etapa perinuclear temprana y tardía. No hay gránulos de vitelo presentes	Sin atresia o atresia menor de oocitos sin vitelo	Etapas tempranas de desarrollo
3	Inmaduro	Parcialmente vitelinos	Sin atresia o atresia menor de oocitos sin vitelo	Gránulos o globulos vitelinos rojizos evidentes desde la periferia de la célula hasta una distancia de $\frac{3}{4}$ de la zona perinuclear
4	Maduro	Posiblemente sin vitelo o parcialmente vitelinos	Atresia evidente de oocitos vitelinos	Se consideran totalmente vitelinos y reproductores en potencia pero han regresado a un estado de inactividad reproductiva
5	Maduro	Oocitos totalmente vitelinos pero no se observan folículos post-ovulatorios	Atresia cero o inferior al 50% atresia en oocitos totalmente vitelinos	Peces maduros o potencialmente reproductores
6	Maduro	Oocitos totalmente vitelinos. Los oocitos pueden estar en la etapa de núcleo migratorio o hidratados y/o presentar folículos postovulatorios	Atresia inferior al 50% , atresia en oocitos totalmente vitelinos, generalmente atresia cero o menor	Pez reproductor que nada activamente con atresia cero o menor
7	Maduro	Oocitos totalmente vitelinos. Los oocitos pueden estar en la etapa de núcleo migratorio o hidratados y/o presentar folículos postovulatorios	Atresia del 50% o mas de oocitos totalmente vitelinos	Pez activamente reproductor con atresia importante
8	Maduro	Algunos oocitos totalmente vitelinos pero ninguno en condiciones de núcleo migratorio o hidratación	Atresia del 50% o más de oocitos totalmente vitelinos	Pez potencialmente reproductor con importante atresia
9	Maduro	No hay oocitos totalmente vitelinos, pero es evidente la atresia de oocitos totalmente vitelinos	Atresia del 100% de oocitos totalmente vitelinos	Pez maduro en fase no reproductiva
10	Maduro	No hay oocitos totalmente vitelinos Los oocitos parecen estar en las etapas 1 ó 2	Oocitos en atresia avanzada	Pez maduro en fase atrética post-desove avanzada

Este esquema de clasificación se puede presentar como un simple sistema de clasificación de madurez (**Tabla 4.8.3**).

**Tabla 4.8.3.** Sistema de clasificación de madurez basada en Hunter *et al.* (1986).

<i>Categoría</i>	<i>Etapas</i>	<i>Hay oocitos totalmente vitelinos</i>	<i>POF presente</i>	<i>Comentarios</i>
Inmaduro	1, 2, 3	No	No	Oocitos que nunca han alcanzado la condición de totalmente vitelinos
Maduro	4 a 10	Si para Et. 5-8	Si para Et. 6, 7	Han desarrollado oocitos totalmente vitelinos
Reproductor activo	5, 6, 7	Si	Si para Et. 6, 7	Hay oocitos totalmente vitelinos
Desovando	6, 7, 5*	Si	Si para Et. 6, 7. No para Et. 5	Evidencia histológica de desove reciente o inminente
Reproductor inactivo/atrético/etapa posterior al desove	4, 8, 9, 10	Si para Et. 8	No	Han desarrollado oocitos totalmente vitelinos pero han regresado a la condición parcial o totalmente inactiva

\* se considera como desovando solo si se ven oocitos en núcleos migratorios o en condición de hidratación.

El diámetro de un cierto número de oocitos (por ej. 350-400 por sección) se debería medir en micrones para obtener las distribuciones de frecuencias de etapas seleccionadas del desarrollo de oocitos.

El momento del desove así como el lugar se pueden basar en ejemplares con oocitos hidratados en los ovarios, lo cual indica el desove inminente.

Respecto a los machos, Abascal *et al.* (2004) y Schaefer (1996) han establecido claves para el desarrollo de los testículos en diferentes especies de túnidos. La clave de Schaefer facilita una guía sobre la condición de desove de los machos, mientras que las descripciones de Abascal *et al.* se refieren a las etapas microestructurales e histológicas que se pueden encontrar en los testículos de los túnidos.

La clasificación de Schaefer (**Tabla 4.8.4**) para el *T. Albacares* en el Pacífico este, se basa en el tamaño del tubo seminífero (vas deferens), el grosor del tejido muscular que rodea el tubo, la cantidad de espermatozoides dentro del mismo, en qué grado era tortuoso el tubo, si el tejido vecino al tubo aparecía fuertemente nucleado y las características de tinción del tejido adyacente al conducto (con la tinción hematoxilina-eosina).

**Tabla 4.8.4.** Etapas de desarrollo basadas en examen microscópico de testículos.

<i>Etapas</i>	<i>Contenido del Vas deferens y estructura</i>	<i>Mancha epitelial del Vas deferens</i>
Pre-desove	Desprovisto de esperma, extremadamente tortuoso	Teñido de oscuro
Desovando o reciente desove	Lleno de esperma, conducto abierto redondeado en los bordes	No destaca el color oscuro

La evidencia de un desove reciente de un macho de *T. albacares* del Pacífico este, sólo se halló 12 horas después de que hubiese tenido lugar. Por lo tanto el muestreo debe tener en cuenta el factor temporal.

Abascal *et al.* (2004) observaron dos zonas distintas en el corte transversal de testículos de *T. thynnus*. En la región externa, los lóbulos seminíferos presentan una pared gruesa formada por el epitelio germinal donde las células germinales se desarrollan en asociación con las células de Sertoli. La luz de los lóbulos está llena de espermatozoides que han sido liberados tras el proceso espermiogénico. La liberación de esperma maduro de los espermatocitos en la luz del lóbulo provoca la discontinuidad del epitelio germinal. En la región central del testículo los lóbulos testiculares pierden el epitelio germinal y se convierten en conductos donde la función del lóbulo cambia de la producción del esperma a su almacenamiento. Solo los espermatozoides maduros se encuentran en esta región, llenando la hinchada luz de los lóbulos. Las fases de los gametos se incluyen en la **Tabla 4.8.5**.

**Tabla 4.8.5.** Etapas de desarrollo de espermatozoides, basado en un examen histológico y SEM

<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>	<i>Lugar</i>
Espermatogonia primaria	Células grandes, ovales, núcleo con cromatina difusa y un único nucleolo central. Gran número de cuerpos cromátidos en el citoplasma.	Distribuido a lo largo del epitelio germinal
Espermatogonia	Resultado de sucesivas mitosis de las espermatogonias primarias. Se encuentran en pequeños grupos. El núcleo contiene cromatina en grumos.	
Espermatocitos primarios	Grupos, con células interconectadas por puentes citoplásmicos. Núcleo de heterocromatina. El citoplasma contiene ribosomas libres.	
Espermatocitos secundarios	Rara vez se encuentra en muestras histológicas. Citoplasma reducido, el núcleo presenta cromatina difusa formando grumos moderadamente electrodensos.	
Espermatidas y espermatozoides	Encontrado en grupos con las cabezas hacia las paredes del lóbulo y los haces de flagelo dirigidos hacia el lumen del lóbulo seminífero. Las espermatidas redondas tienen un núcleo esférico con cromatina densa. La cromatina es más homogénea en las espermatidas alargadas. La cromatina se condensa en granulados en las espermatidas tardías. El núcleo asume también	Se mantienen dentro de los espermatocitos

	una forma oval y presenta un indentado basal en el segmento proximal del axonema. El flagelo se alarga, la masa citoplásmica se reduce y las mitocondrias se unen en torno a la porción proximal del axonema. El flagelo se mantiene paralelo a la base del núcleo del espermatozoide.	
--	--	--

#### 4.8.4 Métodos químicos

En muchas pesquerías los peces se descargan ya eviscerados o de lo contrario, el precio que alcanzan impide que se les abra el vientre y por tanto que se pueda determinar su sexo y grado de madurez. La ausencia de dimorfismos sexuales también dificulta una identificación externa. En estos casos, un estudio endocrino molecular permite averiguar el sexo y el grado de madurez, basándose en muestras de sangre y de tejido. La madurez según la talla se puede estimar obteniendo muestras de músculo de una amplia gama de individuos de cada una de las unidades de ordenación.

Se pueden obtener muestras de sangre y músculo para realizar análisis químicos en relación con las hormonas reproductoras. Obviamente, las muestras de individuos maduros presentan un gran interés. Se ha creado un sacabocados que permite tomar muestras de músculo de aproximadamente 100-150 mg sin dañar demasiado al pez. Estas muestras de sangre y músculo se han de congelar de inmediato tras su extracción.

Para obtener plasma la sangre se debe centrifugar (5000 g durante 15 minutos). El plasma resultante puede analizarse directamente. Las muestras de músculo tienen que ser homogeneizadas, extrayéndose los esteroides con diclorometano antes de proceder a la medición.

La evaluación se puede llevar a cabo por métodos estándar de inmunoanálisis ligado a enzimas o inmunoanálisis para hormonas sexuales (por ejemplo, 17β-estradiol (E<sub>2</sub>), 17α-20β- dihidroxi-4-pregnen-3-ona dihydroxy-4-pregnen-3-one (17,20β P), 11-citotestosterona (11-KT)) y la lipoproteína vitelogenina (Vtg), que se sintetiza bajo la influencia de E<sub>2</sub>.

Los cambios en las hormonas esteroideas y vitelogenina se puede normalmente relacionar con el índice gonadosomático (IGS) y el diámetro de los oocitos. 17,20β-P se puede usar para determinar el tipo de flujo de esperma y de ovulos. La relación entre la testosterona y 11 KT puede servir para identificar el sexo, mientras que varias proporciones esteroides sexuales pueden servir para definir tanto la madurez como el sexo de un pez (por ej., presencia o ausencia de Estradiol, vitelogenina).

Conviene señalar que si bien los esteroides permanecen estables a temperatura ambiente durante varias semanas, las muestras de vitelogenina han de ser almacenadas a temperaturas bajas.

#### 4.8.5 Estimación de características relacionadas con la madurez

El procedimiento estadístico para obtener una pauta de madurez requiere adecuar un modelo de regresión predictiva no lineal ponderada directamente a los datos de madurez. El modelo puede entonces aplicarse para predecir proporciones de peces sexualmente maduros a edades y/o tallas concretas. Con los datos se pueden también hacer evaluaciones de variación espacial y temporal en las funciones de madurez. La madurez a la talla se puede estimar por medio de una curva logística de la fórmula:

$$\%maduro = \frac{100}{1 + e^{-a(talla+b)}}$$

o en la fórmula lineal:

$$\ln\left[\frac{p}{1-p}\right] = \alpha + \beta * talla$$

donde *p* es la probabilidad de que el tünido sea maduro, *α* y *β* son parámetros de regresión lineal del modelo, y talla es la talla del pez. Se deben calcular intervalos de confianza del 95%. Si no se ha realizado muestreo estratificado, el ajuste del modelo se ha de ponderar por el número de muestras de cada clase de talla, con el fin de asegurarse de que un tamaño limitado de las muestras en los extremos del rango de tallas muestreado no tienen excesiva repercusión sobre el ajuste del modelo.

Se puede calcular el índice gonadal (GI) de los marlines. Esta es la relación entre el peso del ovario ( $O_w$ ) y la talla. Se suele usar la longitud desde la mandíbula inferior a la horquilla (LJFL). GI es pues:

$$GI_{LJFL} = \frac{O_w}{LJFL^3} * 10^4$$

Más allá de un valor crítico del GI, particular de algunas especies, se acepta que el individuo estudiado se encuentra en estado de madurez sexual (Albaret, 1977; Cayré y Laloé, 1986). En el pez espada, GI superior o igual a 2.09 es una indicación *a priori* de hembras en una etapa de reproducción activa (García Cortés y Mejuto, 2003). Siempre que sea posible se deben calcular intervalos de confianza del 95% para GI.

El índice gonado-somático (GSI) es la proporción entre el peso gonadal y el peso del cuerpo y puede ser indicativo del grado de madurez:

$$GSI = \frac{W_G}{W} * 100$$

donde  $W_G$  es el peso gonadal y  $W$  es el peso del individuo sin gónadas. Si se calcula un índice gonado-somático, por ejemplo, por medio de histología, podría usarse para determinar las distribuciones espacio temporales del desove. Sin embargo, no es suficientemente preciso para aplicarlo a la clasificación de madurez o de actividad reproductora. Esto se basa en el análisis de datos histológicos detallados.

La estimación de la fecundidad anual en los túnidos requiere estimaciones de frecuencias de desove por clases de talla y estimaciones correspondientes de fecundidad por lotes en todo el rango de tallas de hembras maduras. Es necesario el conocimiento sobre la apariencia y longevidad de los folículos postovulatorios en los ovarios tras el desove para poder estimar la frecuencia de éste. La frecuencia con la cual los ovarios de hembras maduras contienen folículos postovulatorios puede entonces aplicarse para estimar la frecuencia del desove. Las hembras de mayor tamaño parecen capaces de mantener una mayor frecuencia.

Sólo en las etapas finales de la maduración de los ovocitos, empezando con la fase de migración del núcleo y seguida de hidratación existe una separación clara en la distribución de oocitos a partir de la cual se pueden hacer estimaciones de fecundidad por lotes. Esta, tan solo se estimará basándose en ovarios en condición hidratada pero de preovulación. Cualquier pérdida de oocitos falsearía las estimaciones de fecundidad. Teniendo en cuenta que muchos túnidos son reproductores en serie (Corriero *et al.*, 2003), las estimaciones de fecundidad basadas en ovarios no hidratados pueden sobreestimar en mucho la fecundidad por lotes ya que episodios sucesivos de desove no pueden ser claramente diferenciados hasta el inicio de la hidratación. La fecundidad por lotes se debe determinar usando el método gravimétrico que cuenta el número de oocitos hidratados presentes en una submuestra ponderada de tejido ovárico ( $O_w$ ). Se deben tomar secciones de láminas de las zonas anterior, media y posterior del ovario. Cada una de estas muestras se colocará en el portaobjetos del microscopio (una escala longitudinal en el portaobjetos puede ayudar a contar) saturada de una solución de glicerina y con una cubierta por encima. El número de oocitos hidratados presentes en cada muestra se contará tres veces, y la media numérica de oocitos hidratados se aplicará para calcular la fecundidad por lotes:

$$B_f = H_e * O_w$$

donde  $B_f$  es la fecundidad por lotes,  $H_e$  es el número de oocitos hidratados por unidad de peso en la muestra de tejido, y  $O_w$  es el peso del ovario. Las estimaciones basadas en las secciones anterior, media y posterior del ovario pueden después promediarse para obtener una estimación representativa de toda la muestra. Se deben conseguir múltiples muestras y ejemplares para lograr un cierto grado de variabilidad en las estimaciones de fecundidad por lotes.

La fecundidad por lotes por talla se suele describir por medio de una función de potencia de la fórmula:

$$B_f = cL^b$$

donde  $L$  es la talla del pez y  $c$  y  $b$  son parámetros estimados. Fecundidad por lotes por peso se suele describir por una relación lineal de la fórmula:

$$B_f = aW + b$$

donde W es el peso del pez.

La fecundidad anual puede estimarse entonces basándose en las estimaciones de fecundidad por lotes (número de oocitos liberados por desove) y frecuencia del desove.

#### 4.8.6 Bibliografía

- ALBARET, J.J. (1977). La reproduction de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans le Golfe de Guinée. Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr. 15(4): 389-419.
- ABASCAL, F.J., C. Megina and A. Medina (2004). Testicular development in migrant and spawning bluefin tuna (*Thunnus thynnus* (L.)) from the eastern Atlantic and Mediterranean. Fish. Bull. 102, 407-417.
- AROCHA, F. (2002). Oocyte development and maturity classification of swordfish from the north-western Atlantic. J. Fish Biol. 60, 13-27.
- BRIDGES, C.R., P. Schröder, V. Susca, A. Corriero, M. Deflorio, G. De Metrio (2001). A new muscle biopsy technique for sex and sexual maturity determination in large pelagic fisheries. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 52(2): 752-758.
- CAYRÉ, P. and H. Farrugio (1986). Biologie de la reproduction du listao (*Katsuwonus pelamis*) de l'océan Atlantique. In: Symons, P.E.K., P.M. Miyake, G.T. Sakagawa (eds.), Proc. ICCAT Conference on the International Skipjack Year Program, Madrid, pp. 252-272.
- CAYRÉ, P. and F. Laloé (1986). Review of the gonad index (GI) and an introduction to the concept of its "critical value": Application to the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Atlantic Ocean. Marine Biology 90:345-351.
- CORRIERO, A., S. Desantis, M. Deflorio, F. Acone, C.R. Bridges, J.M. De la Serna, P. Megalofonou and G. De Metrio (2003). Histological investigation on the ovarian cycle of the bluefin tuna in the western and central Mediterranean. J. Fish Biol. 63(1), 108-119.
- GARCÍA-CORTÉS, B. and J. Mejuto (2003). Sex ratio patterns and gonadal indices of the swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Spanish surface longline fleet in the Indian Ocean. IOTC Proceedings no 6, 287-299.
- HUNTER, J.R., B. Macewicz and J.R. Sibert (1986). The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the South Pacific. Fish. Bull. 84, 895-903.
- SCHAEFER, K.M. (1996). Spawning time, frequency, and batch fecundity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, near Clipperton Atoll in the eastern Pacific Ocean. Fish. Bull., 94, 98-112.
- SCHAEFER, K.M. (2003). Estimation of the maturity and fecundity of tunas. Report of the working group on modern approaches to assess maturity and fecundity of warm- and cold-water fish and squids. Fiskeri og Havet 12, 117-124.
- SUSCA, V., A. Corriero, C.R. Bridges and D. De Metrio (2001). Study of the sexual maturity of female bluefin tuna: purification and partial characterisation of vitellogenin and its use in an enzyme-linked immunosorbent assay. J. Fish Biol. 58, 815-831.
- WEST, G. (1990). Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. Aus. J. Mar. Freshwater Res. 41, 199-222.

## 4.9 Partes duras

Muchos parámetros se consideran críticos para la evaluación y ordenación de las especies (como ya se ha detallado en este capítulo). Entre estos se encuentra la edad y la tasa de crecimiento de los peces.

Las partes duras que presentan marcas formadas a intervalos de tiempo regulares pueden servir para determinar la edad del pez. Las marcas pueden ser de temporada o anuales (macroincrementos) y presentan una banda opaca y traslúcida que puede verse con microscopio. Algunas marcas pueden ser diarias (microincrementos) y para verlas se necesita un microscopio muy potente o bien un microscopio electrónico. Los microincrementos pueden ser especialmente útiles para determinar la edad en larvas y juveniles. La formación y biomineralización de estas bandas de crecimiento dependen de muchos factores metabólicos y ambientales, incluyendo clima, migraciones, nutrición, etc.

Se recomienda usar la nomenclatura detallada en Kalish *et al.* (1995) al presentar cualquier estudio.

Se recomienda el excelente manual preparado por la CCSBT (Comisión del Atún rojo del sur) para el atún rojo del sur, disponible en:

[http://www.ccsbt.org/docs/pdf/about\\_the\\_commission/age\\_determination\\_manual.pdf](http://www.ccsbt.org/docs/pdf/about_the_commission/age_determination_manual.pdf).

### 4.9.1 Validación

Antes de poder usar los incrementos en partes duras para una rutina de determinación de la edad, deben ser validados, para lo cual se debe aplicar una técnica cuya precisión haya sido probada (Bemish y McFarlane, 1983).

La interacción de factores que influyen en la formación de bandas podría tener como resultado que éstas se formen una o dos veces al año (Ortiz de Zárate *et al.*, 1996 para el atún blanco). Por lo tanto, la periodicidad de formación de bandas ha de ser validada para asegurarse que pueden servir en una lectura correcta de la edad. Un fallo en la validación de las edades puede producir grandes errores en la evaluación de stock.

Hay una amplia gama de métodos que se pueden aplicar en la validación de bandas en partes duras. Incluyen el cálculo retrospectivo y análisis de incremento marginal. El método más concluyente es la aplicación de técnicas de marcado-recaptura, incluyendo el uso de marcadores como la oxitetraciclina (Ortiz de Zárate *et al.*, 1996). La oxitetraciclina puede inyectarse por vía intramuscular a peces capturados y marcados en unas dosis aproximadas de 70 mg/kilo de masa corporal, con una jeringuilla introducida en la zona de la aleta dorsal. La marca resultante es amarilla/oro fluorescente y puede verse por UV, y puede relacionarse con el tiempo que ha transcurrido desde la liberación y las marcas naturales que se han formado en la parte dura. Se puede también usar el cloruro de estroncio ( $\text{SrCl}_2$ ) cuando posibles problemas de salud pública descartan el uso de oxitetraciclina. Las marcas de  $\text{SrCl}_2$  en otolitos seccionados pueden verse en un microscopio electrónico con un detector de retrodispersados tipo Robinson (Clear *et al.*, 2000). Conviene asegurarse que no hay cambios en la pauta del crecimiento tras hacer este tipo de marcas.

Al presentar un estudio, es **preciso** manifestar expresamente que se ha hecho la validación. Es también necesario concretar las edades a las cuales se ha aplicado dicha validación.

### 4.9.2 Muestreo de partes duras

Se ha empleado una amplia gama de partes duras para determinar la edad de túnidos y marlines. Entre estas, los otolitos (sagittae, por ej. atún rojo), la espina/radio de la 1ª aleta dorsal (donde las espinas son por lo general duras y los radios blandos) o las espinas/radios de la aleta anal (por ej. pez espada (espinas), rabil, patudo (radios)), vértebras (por lo general del pedúnculo caudal, la vértebra nº 35, por ej. atún rojo atlántico, patudo).

Algunas estructuras son más adecuadas para una especie o edad en particular que otras. Las espinas se pueden extraer sin dañar al pez. Esto es una ventaja sobre todo cuando dado su alto precio, es necesario comprar el pez para examinar las partes duras. El pedúnculo caudal también se puede obtener sin perjuicio del proceso comercial.

Se suelen aplicar dos estrategias para el muestreo: muestreo aleatorio o muestreo por talla (en el cual se recoge un cierto número de muestras de cada grupo de talla) (apartado 4.2.2). El enfoque que se de al muestreo

dependerá del objetivo del programa. Podrían ser necesarias muestras mensuales para validar el uso de partes duras en la determinación de la edad por medio de análisis de incrementos marginales (apartado 4.9.2), mientras que un muestreo menos frecuente (incluso anual) sería el requerido para establecer claves edad-talla (apartado 4.3), o incluso menos frecuente si se trata de estimar parámetros de crecimiento global. Será necesario el muestreo de ambos sexos para identificar las tasas de crecimiento específicas del sexo.

Es preferible un programa de muestreo de tallas estratificadas, ya que asegurará un muestreo adecuado de toda la gama de tallas y mejorará las estimaciones de parámetros de crecimiento (Apartado 4.9.5) y la utilidad de ALK. Sin embargo, con frecuencia surgen problemas para obtener peces en los extremos superior e inferior de la gama de tallas. En estos casos, podría ser necesario formar un grupo superior o inferior y combinar todas las partes duras en este grupo.

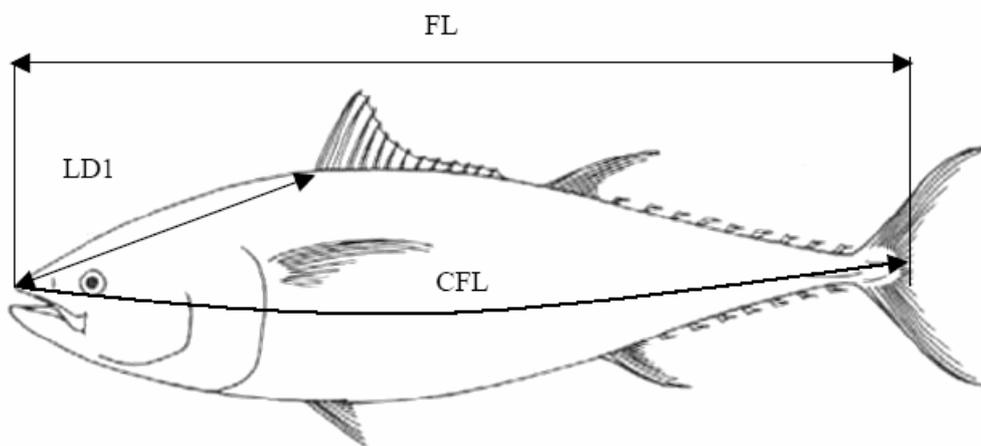
Ruiz *et al.* (2005) han presentado recomendaciones respecto al muestreo de partes duras con tallas estratificadas, de las cuales se ha tomado gran parte del texto que sigue (con autorización). Cada mes se debe obtener un cierto número de partes duras (por ej. espinas) de cada intervalo de 5cm en la gama de tallas. El muestreo debería tener lugar en días diferentes a lo largo de un mes hasta obtener el número suficiente de partes duras, para completar, en la medida de lo posible, la gama de tallas de los desembarques. Las muestras procederán de diferentes zonas de captura del stock en estudio, con el fin de incluir la mayor parte de las mismas. Por lo tanto, también se ampliarán a diferentes barcos y puertos de desembarque.

Las partes duras se obtendrán en los mismos desembarques que las muestras de talla cuando se trate de generar ALK. Si se trabaja con diferentes desembarques, se procurará que las muestras procedan de zonas/artes que ya hayan sido sujetos a mediciones de talla.

Se deberá obtener información sobre el pez del que proceden las partes duras y sobre su captura. Esta información incluye:

<i>Datos</i>	<i>Notas</i>
Especie	
Número único de identificación del pez	
Talla del ejemplar	<p>La medición más común es la longitud a la horquilla (FL). (Apartado 4.3.3). La longitud a la horquilla es la línea recta desde el extremo de la mandíbula superior (extremo del morro) a la parte posterior del radio caudal más corto (horquilla de la aleta caudal) (<b>Figura 4.9.1</b>). Esto se mide mejor por medio de un calibrador. Como alternativa se puede usar una cinta métrica, si bien <b>se debe</b> mantener bien tirante al efectuar la medición. El pez se colocará en una superficie plana en posición horizontal. Si se trata de peces muy grandes que resultan muy difíciles de medir de este modo, se tomarán en lugar de ésta las dos medidas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Longitud a la primera dorsal (LD1): la línea recta desde el extremo de la mandíbula superior (extremo del morro) hasta la base de la primera espina dorsal (inicio de la primera aleta dorsal) (<b>Figura 4.9.1</b>).</li> <li>- Longitud a la horquilla en curva (CFL): longitud desde el extremo de la mandíbula superior (extremo del morro) hasta la horquilla por medio de una línea longitudinal imaginaria, con la correspondiente curvatura del pez (<b>Figura 4.9.1</b>).</li> </ul> <p>Se debe indicar con claridad el tipo de medición aplicado, junto con la unidad (cm). FL y CFL se miden al centímetro inferior (un ejemplar de 70.8 ó 70.2 entrarían ambos en la escala de 70 cm), LD1 se miden al medio centímetro inferior (un ejemplar de 30,4 cm se considera de 30 cm y uno de 30,7 como de 30,5 cm).</p>
Fecha de captura del ejemplar	Día, mes y año
Zona de pesca	Este es el lugar donde se obtuvo la captura de la cual procede la muestra y no se refiere al lugar donde se efectuó el muestreo. Se debe establecer una delimitación geográfica precisa. La más exacta es la latitud y la longitud donde fue capturado. Como esta información no

	está siempre disponible, en el caso de ejemplares muestreados capturados en diferentes operaciones de pesca, la latitud y longitud de la zona (entre 44° - 45°N y 5° - 7° W, por ejemplo), o bien se consignará una zona geográfica más o menos definida, tal como el Golfo de Vizcaya, Mar de Alborán, por ejemplo.
País	El país al cual corresponden las muestras, organización y personal responsable del muestreo.
Fecha de muestreo	Día, mes y año
Peso vivo y/o eviscerado del ejemplar	Kg
Sexo	Macho, hembra, desconocido
Tipo de barco y arte de pesca usado	Cerco, palangre, barco de cebo, etc.
Tipo de cardumen	Cardumen libre, asociado con DCP
Nombre del barco	Nombre del barco que capturó el pez y puerto en el cual fue descargado
Parte dura	Otolito (izquierdo, derecho, ambos), vértebra (y detalles del número de la vértebra), o espina (y número de la espina)



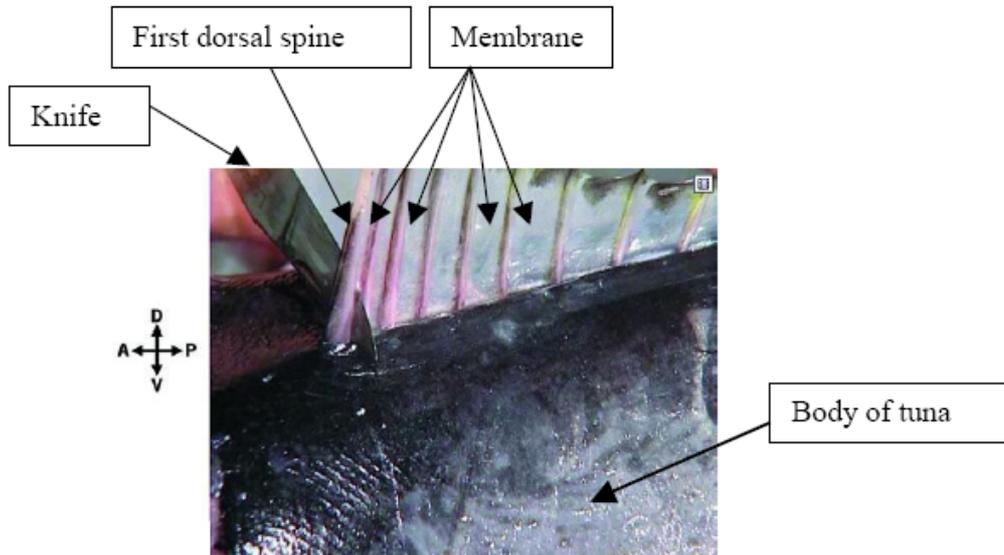
**Figura 4.9.1.** Tipos de mediciones de atún rojo: Longitud horquilla (FL), Longitud a primera dorsal (LD1), Longitud horquilla en curva (CFL) (de Ruiz *et al.*, 2005, con autorización).

Los detalles se anotarán en la hoja estadística adecuada para asegurar que el programa de muestreo ha sido completado.

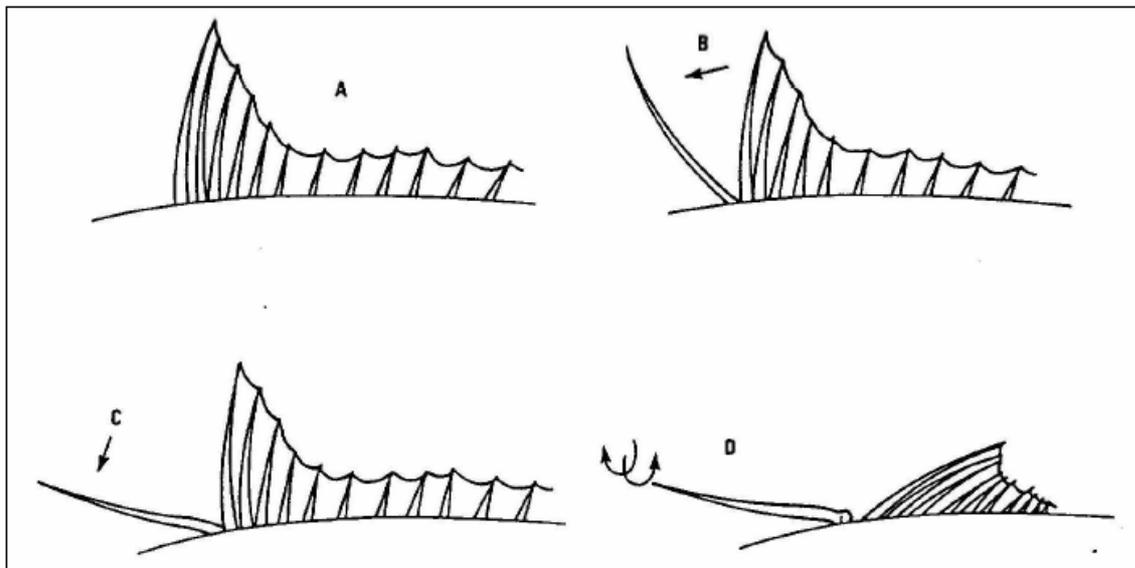
#### *Muestreo de espinas*

Se debe extraer la primera espina de la primera aleta dorsal de cada ejemplar de la especie que convenga. Se debe extraer entera desde la base.

Cortar con un cuchillo la membrana que une los primeros radios de la aleta dorsal (**Figura 4.9.2**). Empujar progresivamente la espina hacia adelante (Figura 4.9.3B) hasta que el ligamento se rompa (**Figura 4.9.3C**). Girar la espina hacia la derecha y la izquierda alternativamente hasta que se desprenda y tirar para extraerla (**Figura 4.9.3D**).



**Figura 4.9.2.** Inserción del cuchillo en la membrana que separa las dos primeras espinas de la 1ª aleta dorsal (Figura de Panfili *et al.*, 2002).



**Figura 4.9.3.** Técnica de extracción de la primera espina de la aleta dorsal del atún rojo (Figuras de Compeán-Jiménez, 1980).

Lo ideal es conservar las espinas en seco en un sobre de papel que se mantendrá en un lugar frío (o sea, refrigerado). Si la espina es demasiado grande para meterla en un sobre, se puede cortar por la mitad o incluso en tres partes y después introducirla en el sobre, teniendo en cuenta que la pieza que forma la base de la espina es la más importante ya que es la que sirve para interpretar la edad. La fecha de obtención de la muestra con su código correspondiente debe figurar en el sobre.

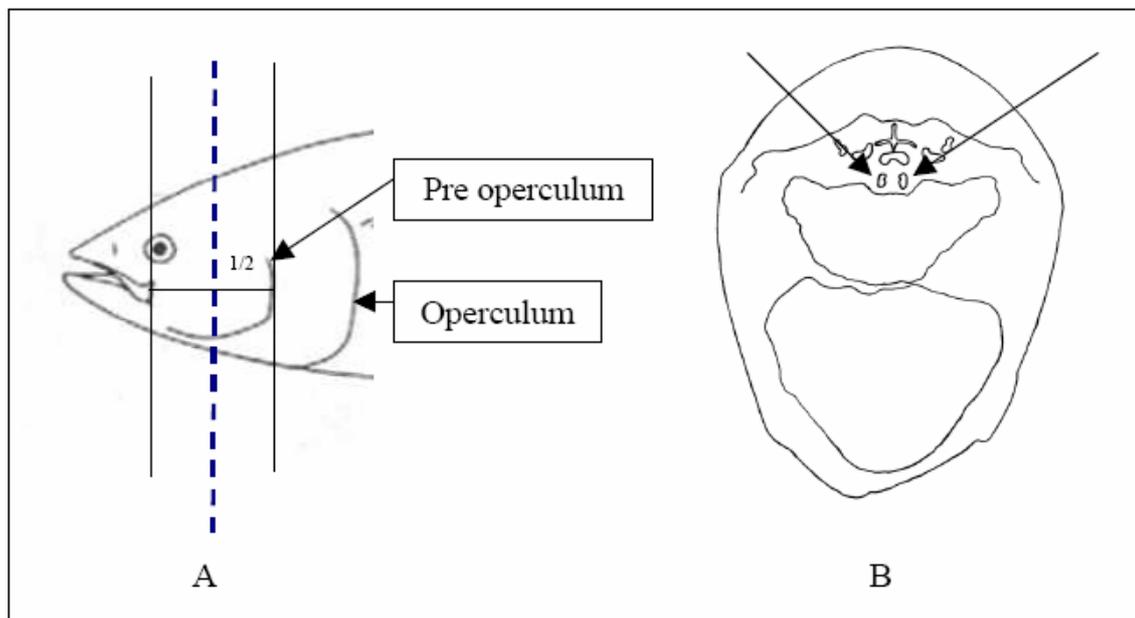
#### *Muestreo de otolitos*

Los otolitos sagitales son estructuras pequeñas y calcificadas que se encuentran en las cavidades semicirculares del oído interno, situadas en la base del cerebro. Se forman por acumulación de carbonato de calcio y proteína. El otolito sagital es el mayor de los tres otolitos que se encuentran en el oído interno del atún rojo.

Existen dos técnicas principales para su extracción: la sección transversal de la cabeza o la sección frontal de la cabeza. En la segunda, se efectúa una sección frontal de la parte superior del cráneo, pasando por encima del ojo y paralela al eje principal del pez. A continuación se detalla la primera de las técnicas.

La sección transversal de la cabeza consiste en hacer un corte en la zona superior de la parte trasera de la cabeza, a nivel de una línea imaginaria: trazar una línea imaginaria perpendicular al pez en posición horizontal, que pasa por en medio del punto central entre la esquina de la boca y el preopérculo (**Figura 4.9.4A**). Para ello se recomienda el uso de una regla para dividir esta distancia en dos, y después se hace un corte en la parte superior del pez siguiendo esta línea imaginaria. Una vez que se ha marcado el punto para hacer el corte, se introduce una sierra metálica en la cabeza, en forma perpendicular al eje horizontal del pez.

La parte seccionada de la cabeza contiene los otolitos. Si el corte antes descrito se ha hecho correctamente, se buscarán los otolitos en la cavidades que se encuentran debajo del cerebro en la zona superior de la cabeza (**Figura 4.9.4B**). Si no se encuentran allí, podrían estar en la otra parte del pez cortado. Por medio de unos pequeños fórceps y con gran cuidado para evitar romper estas frágiles piezas, se extraen los otolitos. Se deben sacar de una capsula muy fina y transparente que los cubre. Los otolitos tienen un tamaño entre 7 y 20 mm aproximadamente, y se deben extraer los dos otolitos de cada ejemplar. Si el otolito se rompe, se debe intentar recuperar las piezas y conservarlas juntas. Una vez extraídos, se enjuagan con agua o en alcohol diluido y se dejan secar.



**Figura 4.9.4.** A. Trazo de línea imaginaria (discontinua) a lo largo de la cual se hará el corte. B. Vista de las cavidades donde se encuentra el par de otolitos en la parte posterior de la cabeza. (de Ruiz *et al.*, 2005, con autorización)

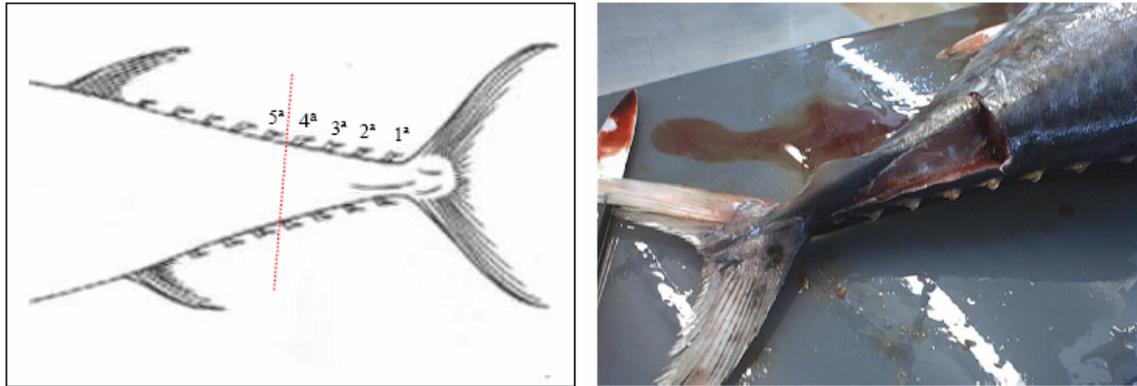
La mejor forma de almacenar los otolitos es meterlos en seco en un tubo o en un sobre. Si se utiliza un sobre se debe evitar presionarlo para no romperlos. Los datos sobre el ejemplar muestreado o bien su correspondiente código deberán figurar en el sobre o en el tubo.

#### *Vértebras caudales*

Para estudiar el crecimiento se usa la vértebra 35 (Farber y Lee, 1981) Sin embargo, es mejor extraer las vértebras 35 y 36 sin separarlas. El tener las dos ofrece la oportunidad de comparar los métodos “todas las vértebras” y “sección de las vértebras”. Por otra parte, el almacenar las vértebras 35 y 36 juntas conserva la calidad de la superficie interior e impide la deshidratación que provoca la refrigeración. Cuando la superficie entra en contacto con el aire, se seca y resulta más difícil de leer.

Para encontrar la vértebra 35, se hace un corte transversal en la zona caudal, entre la 4ª y 5ª pínula (contando desde el extremo de la cola hacia adelante, es decir, tiene que haber 4 pínulas más detrás de la indicada). Al

hacer el corte, la vértebra 35 debe quedar visible. El corte debe coincidir con el espacio intervertebral y la cola se puede cortar con facilidad. De no ser así, el espacio intervertebral debe buscarse hacia la parte delantera del pez. La vértebra 35 es la primera vértebra en la parte seccionada y se puede separar junto con la vértebra 36 del resto de las vértebras caudales; después se lavan y se eliminan los restos de carne que queden.



**Figura 4.9.5.** Corte efectuado para buscar la vértebra 35. La foto muestra el corte transversal y la cola se ha pelado para descubrir las vértebras (marcas blancas). (de Ruiz *et al.*, 2005, con autorización)

Las dos vértebras se almacenarán juntas y no se separarán hasta haberlas analizado. Se guardarán secas en un sobre y en lugar refrigerado (siempre queda algo de carne adjunta). Las vértebras pueden almacenarse junto con la espina en el mismo sobre.

#### **4.9.3 Forma de preparar las partes duras para su lectura**

Se hace una sección transversal de la base de la espina (donde esta tiene aproximadamente la mitad de la anchura máxima de la base del cóndilo). Las secciones se montan en resina y se cortan con una sierra de baja velocidad, para obtener una rodaja fina (de unos 0,5 mm). Estas secciones se colocan sobre una platina, con resina y se aclaran durante 5 minutos en etanol al 95%, si es necesario. Después se examinan con microscopio.

Es posible leer los otolitos enteros, pero puede resultar difícil determinar la edad en otolitos de peces de edad avanzada y las edades podrían resultar subestimadas. Se recomienda cortarlos. Los otolitos se incrustan en resina de poliéster y se hace un corte transversal en el primordio con una sierra de baja velocidad. El trozo obtenido se puede colocar con resina en una platina para microscopio y se pule con la arenilla adecuada, si fuese necesario. El otolito se puede leer con un microscopio binocular.

Las vértebras se pueden cortar en rodajas finas en el plano sagital (dorso-ventral), por medio de una sierra de baja velocidad. Se colocan sobre una platina para microscopio y para que su lectura resulte más clara se añade nitrato de plata o bien se pulen y después se observan con un microscopio binocular.

#### **4.9.4 Lectura**

Con la lectura de partes duras preparadas se obtiene la edad absoluta de un pez determinado y por referencia a la talla de ese mismo pez, una edad por talla.

Las edades se establecen en relación con una “fecha de nacimiento” asignado a una especie. Esta fecha de nacimiento suele estar en relación con el periodo de desove de la especie. Cuando se establece la edad, de acuerdo con una fecha de nacimiento, no se contará un anillo anual completo hasta que dicha fecha haya pasado. Por ejemplo, si la fecha es el 1 de junio, un pez con un tercer anillo anual que se acaba de completar sería considerado como de dos años, hasta su captura el 1 de junio o en fecha posterior.

Por lo general, los encargados de la lectura no deben recibir información adicional sobre el pez (por ej. talla, fecha de captura) para evitar posibles sesgos. La fecha de captura podría ser importante a la hora de asignar una edad en torno a la fecha de nacimiento de la especie.

Se debe tener cuidado al leer las espinas, ya que su parte central puede estar vascularizada en el caso de los peces más viejos. Esto cancela las bandas de edad que se forman cuando son jóvenes. Estas bandas se han tenido en cuenta al determinar la edad por medio del cálculo retrospectivo del posible número de supuestos anillos (Lee y Yeh, 1993) o por el uso de valores facilitados en estudios anteriores (Cort, 1991, sobre atún rojo).

Una sencilla medida de la precisión de las estimaciones de edad en partes duras, de lectores múltiples, es el porcentaje medio individual de error (IAPE, Beamish y Fournier, 1981). Se puede calcular como sigue:

$$IAPE = \frac{100}{N} \sum_{j=1}^N \left[ \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right]$$

donde  $N$  es el número de peces cuya edad ha sido establecida,  $R$  es el número de lecturas,  $X_{ij}$  es la determinación de la edad  $i$  del pez  $j$ , y  $X_j$  es la edad media calculada para el pez  $j$ .

#### 4.9.5 Estimación de los parámetros de crecimiento

Los datos de talla por edad pueden ajustarse a ecuaciones de crecimiento con el fin de estimar parámetros importantes para la evaluación y ordenación de stocks. Por lo general, los datos se ajustan a una ecuación de crecimiento de von Bertalanffy. Esta ecuación satisface dos importantes criterios, se ajusta a la mayor parte de los datos observados de crecimiento de los peces y se incorpora a los modelos de evaluación de stock. La fórmula es:

$$L_t = L_\infty \left[ 1 - e^{-K(t-t_0)} \right]$$

donde  $L_t$  es la talla a la edad  $t$ ,  $L_\infty$  es la talla asintótica,  $K$  es el coeficiente de crecimiento y  $t_0$  la edad teórica para una talla cero.

Gascuel *et al.* (1992) proponían una función de crecimiento de cinco parámetros para hacer un modelo de las curvas de crecimiento de dos etapas del rabil atlántico. Este modelo combinaba una función lineal y el modelo generalizado de von Bertalanffy:

$$L_t = L_0 + bt + [L_\infty - (L_0 + bt)] \left[ 1 - e^{-Kt} \right]^m$$

donde  $L_t$  es la talla a la edad  $t$ ,  $L_0$  es la talla a la edad 0,  $L_\infty$  es la talla asintótica,  $K$  es el coeficiente de crecimiento,  $b$  es la tasa inicial de crecimiento, y  $m$  es un parámetro estimado.

Las ecuaciones de crecimiento se pueden ajustar a los datos de talla por edad procedentes de partes duras, aplicando métodos de mínimos cuadrados, o bien métodos de probabilidad (Kimura, 1980). En ambos casos, se deben presentar los errores estándar de los parámetros.

Se debe ser prudente al interpretar estimaciones de parámetros de crecimiento, ya que se ven fuertemente afectados por la calidad y cantidad de los datos disponibles. Se plantean ciertos problemas debido a la falta de individuos más pequeños y jóvenes a causa de la selectividad del arte, y de individuos más grandes debido a la presión pesquera histórica. El no incluir individuos más grandes y viejos reduce la información sobre el parámetro  $L_\infty$  de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, mientras que la falta de individuos más jóvenes reduce la información sobre el parámetro  $K$ . El resultado puede ser una gran incertidumbre, que se refleja en las evaluaciones de stock cuando se emplean estos parámetros de crecimiento.

#### 4.9.6 Claves edad-talla (ALK)

Para la creación de estas claves se precisan datos de edad y crecimiento. Su creación se describe en el apartado 4.3.6.

#### 4.9.7 Análisis de microelementos

El análisis de microelementos consiste en el examen de los elementos residuales que aparecen en otolitos (Secor y Chesney, 1998). El método se basa en dos propiedades de los otolitos: que siguen creciendo a lo largo de la

vida del pez y que, al contrario de los huesos, los otolitos son inertes en cuanto a metabolismo; el carbonato de calcio y los elementos residuales que constituyen más del 90% de la estructura del otolito, se deben sobre todo al agua de mar, modificada por la temperatura ambiente (Humphreys *et al*, 2005). Ciertos elementos se incorporan a los otolitos en proporción directa a su contacto con el agua circundante o el alimento. Por lo tanto, los peces procedentes de diferentes lugares podrían tener diferentes mezclas de elementos en sus otolitos, lo cual constituye una huella digital elemental única de zona/stock. El análisis de los microelementos de otolitos puede así contribuir a medir el número de características del ciclo vital. Puede servir para validar y para estudiar la fidelidad al hábitat, la zona de cría originaria (donde se examinan los otolitos de juveniles; Rooker *et al*, 2003), estructura del stock, tasas de migración, etc.

Magnesio (Mg), calcio (Ca), estroncio (Sr) y bario (Ba) se incorporan y permanecen en la estructura de entramados inorgánicos de los otolitos y por lo tanto pueden servir para estudiar el historial del medio ambiente. Otros elementos como el sodio (Na), azufre (S), potasio (K) y cloro (Cl), se asocian con material orgánico o espacios intersticiales, y son probablemente menos estables.

Es preciso aplicar procedimientos adecuados de descontaminación y manipulación para evitar la lixiviación de los elementos tras su extracción. La contaminación se puede producir en el curso de los procesos de disección, manipulación, almacenaje o limpieza. Los otolitos se suelen sumergir en agua muy purificada (por ej. agua doble destilada y desionizada) para hidratarlos y eliminar el tejido biológico restante. Se puede usar peróxido de hidrógeno al 3% para sumergir el otolito durante 5 minutos y disolver dicho tejido. Después se puede sumergir otros 5 minutos en ácido nítrico al 1% para limpiar la contaminación superficial y después empapararlo con agua doble destilada y desionizada 5 minutos más para eliminar el ácido. Después, el otolito se secará bajo una campana de flujo laminar. Este procedimiento ha resultado eficaz para eliminar contaminaciones de Mg, Mn y Ba, sin afectar la composición original del otolito.

La principal técnica empleada para estudiar los microelementos del otolito es la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo. Esta técnica puede hacer muestreos simultáneos de múltiples elementos con muy alta sensibilidad (límites de detección inferiores a partes por millón). El ICPSM basado en una solución requiere que el material se sumerja en una solución tras disolver el ácido.

Las proporciones de isótopos de oxígeno estable ( $\delta^{18}\text{O}:\delta^{16}\text{O}$ ) en otolitos puede servir como sustituto de la temperatura ambiente del agua. A temperaturas más altas, los otolitos contienen más del isótopo  $\delta^{16}\text{O}$  más ligero. Las proporciones de isótopos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) pueden relacionarse con el metabolismo. Sin embargo, los factores que controlan la composición del isótopo de carbono estable ( $\delta^{13}\text{C}$ ) en otolitos son más complejos que los que controlan los isótopos de oxígeno ya que  $^{13}\text{C}$  experimenta también la influencia del metabolismo del pez y de las costumbres alimenticias. Las técnicas de muestreo a microescala en otolitos usando micromill o técnicas de ablación por láser permiten la evaluación de la información medioambiental con una alta resolución temporal con las limitaciones del espectrómetro de masas. Un muestreo preciso de otolitos usando micromill o técnicas de ablación por láser permite relacionar las pautas de temperatura con la edad y por tanto, con el ciclo vital de los peces.

#### 4.9.8 Bibliografía

- BEAMISH, R.J. and G.A. McFarlane (1983). The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112, 735-743.
- CLEAR, N.P., J.S. Gunn, and A.J. Rees (2000). Direct validation of annual increments in the otoliths of juvenile southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, by means of a large-scale mark-recapture experiment with strontium chloride. *Fish. Bull.* 98, 25-40.
- COMPEAN-JIMENEZ, G. 1980. Comparaison de techniques de détermination de l'âge chez les principales espèces de thonidés atlantiques (Tesis doctoral). Univ. Aix Marseille II, 153 pp.
- CORT, J.L. (1991). Age and growth of the bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (L.) of the northwest Atlantic. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 35(2): 213-230.
- FARBER, M. I. and D.W. Lee (1981). Ageing western Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, using tagging data, caudal vertebrae and otoliths. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 15(2): 288-301.
- GASCUEL, D., A. Fonteneau and C. Capisano (1992). Modélisation d'une croissance en deux stances chez l'albacore (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. *Aquat. Living Resour.* 5, 155-172.

- HUMPHREYS, R.L., S.E. Campana and E.E. De Martini (2005). Otolith elemental fingerprints of juvenile Pacific swordfish *Xiphias gladius*. *J. Fish Biol.* 66, 1660-1670.
- KALISH, J.M., R.J. Beamish, E.B. Brothers, J.M. Casselman, R.I.C.C. Francis, H. Mosegaard, J. Panfili, E.D. Prince, R.E. Thresher, C.A. Wilson and P.J. Wright (1995). Glossary for otolith studies. *In* Recent developments in fish otolith research. (D.H. Secor, J.M. Dean and S.E. Campana, eds.). The Bella W. Baruch library in marine sciences, USA. pp.723-729.
- KIMURA, D.K. (1980). Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fish. Bull.* 77, 765-776.
- LEE, L.K. and S.Y. Yeh (1993). Studies on the age and growth of South Atlantic albacore (*Thunnus alalunga*) specimens collected from Taiwanese longliners. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 40(2): 354-360.
- ORTIZ DE ZARATE, V., P. Megalofonou, D. De Metrio and C. Rodriguez-Cabello (1996). Preliminary age validation results from tagged-recaptured fluorochrome label albacore in north east Atlantic. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 43(1): 331-338.
- PANFILI, J., H. De Pontual, H. Troadec and P.J. Wright (eds.) (2002). *Manual of Fish Sclerochronology*. Brest, France: IFREMER-IRD co-edition, 464 p.
- PRINCE, ED., D.W. Lee, J.L. Cort, G.A. McFarlane, A. Wild (1995). Age validation evidence for two tag-recaptured Atlantic albacore, *Thunnus alalunga*, based on dorsal, anal and pectoral fin rays, vertebrae, and otoliths. *In* Recent developments in fish otolith research. (D.H. Secor, J.M. Dean and S.E. Campana, eds.). The Bella W Baruch library in marine sciences, USA. pp. 375-396.
- ROOKER, J.A., D.A. Secor, V.S. Zdanowicz, G. de Metrio, L. Orsi Relini (2003). Identification of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) stocks from putative nurseries using otolith chemistry. *Fish. Oceanogr.* 12, 75-84.
- RUIZ, M., E. Rodriguez-Marin and J. Landa. (2005). Protocol for sampling of hard parts for bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) growth studies. *In*: Report of the bluefin tuna direct ageing network (under the BYP framework). *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 58(4): 1403-1419.
- SECOR, D.H. and E.J. Chesney (1998). Summary of a workshop: otolith microconstituent analysis of Atlantic bluefin tuna. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 48(1): 51-58.

#### **4.10 Información de observadores y otras muestras biológicas**

El papel de los programas de observadores puede variar mucho. Uno de los principales objetivos puede ser el cumplimiento de las normas acordadas, asegurando que los requisitos nacionales e internacionales son observados en el curso de las operaciones de los barcos pesqueros. En lo que respecta a este manual presentan más interés los observadores científicos, cuya misión es la recogida de datos científicos, el seguimiento del esfuerzo de pesca y las tasas y volumen de la captura secundaria. Los programas de observadores suponen también uno de los escasos métodos para obtener datos precisos de captura, esfuerzo y posición de los túnidos capturados para la cría. Esto tiene especial importancia dado el aumento de esta práctica en el Mediterráneo. El acceso a los peces para obtener datos biológicos podría resultar difícil, ya que a los pescadores no les gusta que se manipulen los peces destinados a las granjas, puesto que les produce tensión.

El muestreo en la mar puede efectuarlo un biólogo, un técnico entrenado a bordo, o bien pescadores a los que se han dado las instrucciones precisas. Esto puede ser de especial interés para palangreros que operan lejos de sus puertos de base, ya que sus mareas pueden durar varios meses. Las capturas diarias pueden ser escasas y por lo tanto cuando el barco vuelve a puerto a descargar, la mayor parte de los peces en las bodegas habrán perdido sus señas de identidad en cuanto a fecha y lugar de la captura. Teniendo en cuenta que la captura diaria es escasa, es más sencillo pedir a los pescadores que midan algunos peces.

##### **4.10.1 Cobertura por observadores**

La cobertura por observadores se refiere a la parte del esfuerzo de pesca (por ejemplo, las mareas de los barcos) cuyo muestreo lleven a cabo en la mar personas expertas en la recogida de datos científicos. Como se indica en el apartado 4.2.4, los requisitos del muestreo dependerán de los objetivos de la encuesta, por ejemplo, obtención de datos de talla, información sobre especies que no son objetivo o sobre aves marinas o mamíferos protegidos. Los requisitos del muestreo de una especie en particular dependerán de si la presencia de esta especie es o no frecuente, la agregación, estacionalidad, variabilidad del reclutamiento y otros factores.

Una cuestión clave ha sido el estudio de los niveles de cobertura por observadores para evaluar las especies amenazadas o en peligro, para las que los bajos niveles de mortalidad podrían poner en peligro su recuperación. En este caso, podría ser necesario un cómputo exacto del total de mortalidad fortuita y por lo tanto la cobertura por observadores debería ser del 100%. Este es el caso de las pesquerías de túnidos con cerco en el Pacífico tropical oriental, donde la Comisión Interamericana del Atún Tropical requiere una cobertura del 100% con el fin de aplicar las cuotas individuales por barco de captura secundaria de delfines.

Tal como se indica en el apartado 4.2.4, la cobertura por observadores se ve limitada por cuestiones de presupuesto, por lo que no siempre es posible obtener una cobertura del 100%. En estos casos, debe ser la suficiente para que las estimaciones sean lo más exactas y precisas posible, a efectos de evaluación y ordenación. La precisión depende del tamaño de la muestra, el tamaño de la pesquería y de la variabilidad del factor. La exactitud depende de estos factores, y también depende de que la parte de la pesquería sometida a muestreo sea representativa del conjunto de la misma.

Resulta difícil definir la cobertura por observadores basándose en la precisión deseada de los resultados. Los niveles de captura pueden variar mucho de una marea a otra, debido a influencias del medio ambiente, económicas, sociales y de gestión. Dentro de estos límites, el enfoque más realista podría ser conseguir una cobertura máxima con los fondos y personal disponibles, así como las consideraciones de tipo operativo. Podría ser necesario agrupar los datos para reducir la incertidumbre en los resultados. Los lectores tendrán en cuenta, sin embargo, que sería fácil que las estimaciones de parámetros partiendo de datos de observadores estuviesen sesgadas (es decir, que no fuesen exactas) si la cobertura es inferior al 100%.

Como ya se observó, el nivel de precisión obtenido con un determinado nivel de cobertura depende de un cierto número de factores, incluyendo el volumen de los datos sobre la hora, zona y arte que son necesarios, y del nivel de variabilidad entre lances y entre barcos, en el factor a considerar. Lo primero requiere que la cobertura por observadores se promedie entre todos los países/tipos de barcos/artes/estrategias de pesca/zonas, con el fin de incluir toda la gama de situaciones posibles. Por ejemplo, las muestras tomadas de tan solo una parte del año o en una sola de las zonas de la pesquería, normalmente no representarán a todos los desembarques del año. Lo segundo precisa de un nivel de cobertura razonable dentro de la categoría país/barco/arte, etc. estos factores conflictivos requieren de gran cantidad de datos de observadores para efectuar los cálculos.

Una vez identificados los estratos homogéneos espaciales/temporales/artes, los barcos se pueden seleccionar de forma aleatoria. Si la muestra es realmente aleatoria, los niveles de cobertura se pueden definir por medio de la fórmula de muestreo detallada en el apartado 4.2.1. Como se observa en el apartado 4.2.4 y anteriores, se debe tener cuenta sin embargo, los factores de seguridad y viabilidad.

También se pueden aplicar métodos de muestreo adaptables, en los cuales la cobertura se modifica de acuerdo con las observaciones que se hagan en el curso del programa de observadores. Por ejemplo, zonas señaladas como de gran abundancia pueden muestrearse con mayor intensidad enviando más observadores a los barcos. Se pueden consultar textos estadísticos (por ejemplo Thompson, 1992) para obtener más información.

El lector de este manual debe ser consciente de que hay un cierto número de posibles sesgos en los datos de observador e intentar prevenirlos y que incluyen:

- Sesgos causados por el mismo observador (es decir, la actuación del barco cambia debido precisamente a la presencia del observador a bordo).
- Sesgos debidos a una asignación no aleatoria del esfuerzo de pesca.
- Sesgos causados por limitaciones logísticas (por ejemplo, componentes de la pesquería que, por logística, resultan difíciles de muestrear).
- Sesgos provocados por una anotación inexacta de los datos por parte de los observadores.
- Sesgos debidos al escaso tamaño de la muestra.
- Sesgos provocados por una estratificación inadecuada.

#### 4.10.2 Examen de las prácticas pesqueras

Los observadores están en el lugar ideal para examinar las características del barco en el que se encuentran, así como sus operaciones de calado y recogida (palangres), búsqueda y calado (redes de cerco) etc. ICCAT tiene disponibles formularios a este efecto (**Anexo 1**). Los detalles a examinar incluyen:

<i>Detalles</i>	<i>Datos específicos</i>
Características del barco	Nombre del barco/código/bandera/tipo/capacidad de almacenaje/tonelaje/caballo de fuerza/velocidad máxima y de crucero, quipos a bordo
Características del arte	Cerco: longitud, profundidad, malla, tamaño del salabardo, potencia del chigre Palangre: longitud de liña, número de anzuelos, anzuelos entre boyas Barcos de cebo: arte del cebo, longitud, profundidad, capacidad de cebo, viveros
Características de la marea	Puerto de procedencia, fecha de salida, puerto de regreso, fecha de regreso
Avistamiento (sobre todo para cerqueros)	Búsqueda y calado de acuerdo con los pájaros, mamíferos, restos flotantes, DCP, peces saltadores, aviones
Características de la Búsqueda (cerco) o del calado (palangre)	Rumbo (en grados), velocidad del barco, potencia y número de prismáticos, características del radar, situación climática y escala de Beaufort

CONVIENE OBSERVAR que esta lista no es exhaustiva. Los observadores deberán consultar los formularios de datos ya establecidos Gaertner y Pallarés (2002a).

Si bien el esfuerzo para los cálculos de CPUE (apartado 4.4) están probablemente preestablecidos por datos procedentes del cuaderno de pesca del barco, como “días de pesca”, “número de lances”, “número de anzuelos”, etc., los observadores pueden identificar factores a escala más fina, incluyendo los que se refieren al éxito en la búsqueda (Gaertner *et al.*, 1999; por ejemplo, número y potencia de los prismáticos, potencia del radar, potencia y velocidad del barco o panga). Estos factores podrían contribuir a un afinamiento en la estimación del esfuerzo en el futuro (Gaertner y Pallarés (2002b).

La captura podría resultar más difícil de observar, en particular si el muestreo biológico se está llevando a cabo a medida que el pescado entra en el barco. Sin embargo, la información de los observadores puede constituir una comprobación global de los niveles anotados en el cuaderno de pesca del barco.

Tal como se observa en el apartado 4.2.4, las capturas y desembarques de las especies clave no son con frecuencia iguales, lo cual se debe a los descartes en la mar. Además otras especies de “captura secundaria”, de escaso valor económico, podrían ser capturadas y descartadas en mar, hecho que podría no quedar anotado en los cuadernos de pesca del barco. Los observadores científicos están bien situados para observar estas capturas secundarias y descartes, que es un elemento clave para identificar el impacto de las operaciones de pesca sobre el ecosistema en su conjunto (Gaertner *et al.*, 2002). Algunas especies en concreto podrían descartarse debido a la situación del mercado o bien a las regulaciones existentes, incluyendo las de talla mínima o límites de captura. Además, la captura secundaria, de peces que no son objetivo y que podrían engancharse en los anzuelos o enredarse en las redes, podría también descartarse. Una cierta proporción de estos peces se devolverían al mar ya muertos. Los datos sobre el número y la situación de las especies descartadas obtenidos por los observadores son de un valor extraordinario. El cálculo de las tasas de descarte se trata de nuevo en el apartado 4.10.4.

#### **4.10.3 Información biológica**

La recopilación de información biológica se ha tratado con detalle en anteriores apartados de este manual. La ventaja de que este tipo de información sea obtenida por observadores en la mar es que pueden relacionarla directamente con el lugar de donde proceden las muestras (como en la localización geográfica de la captura). Esto no ocurre así en el muestreo de bodegas que pueden contener peces procedentes de muchas y diferentes capturas obtenidas en una zona general, o capturas de palangre dentro de un amplio conjunto de lances efectuados en periodos y zonas geográficas amplias y diversas. También se pueden señalar los peces capturados en circunstancias particulares (por ejemplo, en asociación con DCP).

#### **4.10.4 Descartes y estimación de tasas de descarte**

Como ya se ha observado, la estimación de las tasas de descarte es una cuestión de considerable importancia en las pesquerías de túnidos. Ha sido objeto de amplio debate en particular en las pesquerías de túnidos estadounidenses, y en el seno de la IATTC se ha tratado en detalle la interacción de los artes con los delfines. Como ya se ha dicho, si hay alguna especie de captura secundaria que se encuentre en peligro de extinción, se precisa un alto nivel de precisión en las estimaciones de estas capturas secundarias, lo cual requeriría un 100% de cobertura de los barcos. Cuando se precisan estimaciones de captura secundaria a fines de evaluación de stock, el nivel de precisión requerido podría depender de la metodología de evaluación y del sistema de ordenación en sí mismo. Cuando la mortalidad por captura secundaria es alta en comparación con otras fuentes de mortalidad en un stock, podría ser necesario un mayor nivel de cobertura.

No se detallará aquí la metodología aplicada a la estimación de las tasas de descarte. Como referencia, Brown (2001) presenta un método de estimación para evaluar los descartes de atún rojo muerto en la flota de palangre pelágico de Estados Unidos en el Atlántico. O'Brien *et al.* (2003) ideó un método alternativo para estimar las tasas de descarte y los niveles globales del mismo en la pesquería de palangre estadounidense, utilizando conceptos como condicionamiento, distribuciones flexibles de mezcla (en este caso la binomial negativa) y modelos lineales generalizados. A menudo resulta adecuado comprobar los datos con una gama de modelos y un estudio indicaba que las estimaciones ideadas por Brown (2001) no eran inadecuadas, a pesar de las cuestiones que podían surgir de los supuestos estadísticos establecidos. Sin embargo, las ventajas del condicionamiento deben ser investigadas a la hora de estimar los descartes.

#### **4.10.5 Bibliografía**

- ALLEN, A., D. Kilpatrick, M. Armstrong, R. Briggs, G. Course and N. Pérez (2002). Multistage cluster sampling design and optimal sample sizes for estimation of fish discards from commercial trawlers. *Fish. Res.* 55, 11-24.
- BROWN, C.A. (2001). Revised estimates of bluefin tuna dead discards by the U.S. Atlantic pelagic longline fleet, 1992-1999. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 52(3): 1007-1021.
- COTTER, A.J.R., G. Course, S.T. Buckland and C. Garrod (2002). A PPS sample survey of English fishing vessels to estimate discarding and retention of North Sea cod, haddock and whiting. *Fish. Res.* 55, 25-35.
- EDWARDS, E.F. and C. Perrin (1993). Effects of dolphin group type, percent coverage, and fleet size on estimates of annual dolphin mortality derived from 1987 U.S. tuna vessel observer data. *Fish. Bull.* 91, 628-640.

- GAERTNER, D., M. Pagavino and J. Marcano (1999). Influence of fisher's behaviour on the catchability of surface tuna schools in the Venezuelan purse-seiner fishery in the Caribbean Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:394-406.
- GAERTNER, D., F. Ménard, C. Develter, J. Ariz and A. Delgado de Molina (2002). By-catch of billfishes by the European tuna purse seine fishery in the Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 100:683-689.
- GAERTNER, D. and P. Pallarés (2002a). The European Union Research Project, Efficiency of Tuna Purse-Seiners and Effective Effort (ESTHER): Scientific report of project. Doc. SCTB15-FTWG-3.
- GAERTNER, D. and P. Pallarés (2002b) Efficacité des senneurs thoniers et effort réels (ESTHER). Programme no. 98/061. Union Européenne, DG 'Fisheries' (DG XIV). Rapport Scientifique, Bruxelles, Belgique, 187 pp.
- O'BRIEN, C.M., G.M. Pilling and C. Brown (2003). Development of an estimation system for U.S. longline discard estimates. *In* Payne, A., C. O'Brien and S. Rogers, S. (eds). *Management of shared fish stocks.* Blackwell Publishing, Oxford. 384p.
- ORTIZ, M., C.M. Legault and N.M. Ehrhardt (2002). An alternative method for estimating bycatch from the U.S. shrimp trawl fishery in the Gulf of Mexico, 1972-1995. *Fish. Bull.* 98, 583-599.