

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 $5^{\circ} \times 5^{\circ} \times \text{mes}$, $1^{\circ} \times 1^{\circ} \times \text{mes}$.

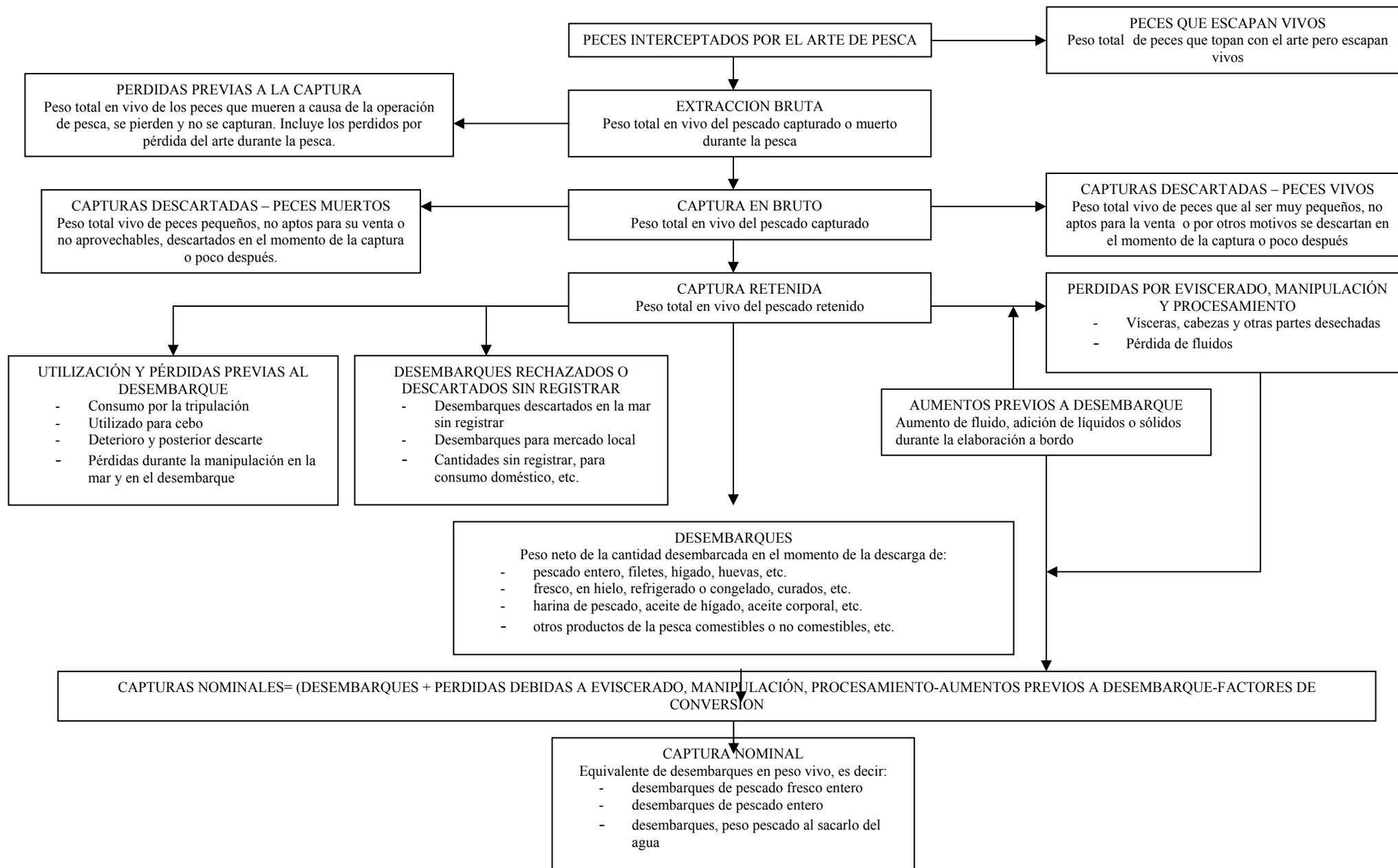


Figura 4.2.1. Representación en diagrama de los conceptos aplicados en la estimación de la captura nominal

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*¹ 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”.

¹ ‘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, σ^2 , de las unidades de muestreo en la población; la información facilitada por una unidad de muestreo es proporcional a $1/\sigma^2$. σ^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 θ (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 θ 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 μ 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 σ^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 μ 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 γ 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 esfuerzo² (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

² 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 consignent 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 Anexo 2 incluye el manual de muestreo de los túnidos tropicales en los océanos Atlántico e Indico.

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 peces³.
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.

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

	(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 tú-nidos tienen escasa importancia o donde una de las especies de tú-nidos tiene menos importancia que otra.	- Añadir una columna en el formulario para consignar las especies en cuestión.
Cobertura inadecuada		
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 tú-nidos.	- Muchos países del Mediterráneo, África, Sudamérica y Mar Caribe.	- Establecer un sistema (y formato) para informar sobre tú-nidos. - 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.
Banderas		
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.

- 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. Hoenig, 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.