Crecimiento individual en peces

Miriam E. Maroñas (2006)

El crecimiento de un organismo implica un cambio de tamaño en el tiempo. Se puede medir este cambio utilizando como variables, principalmente, a la longitud o al peso. Un individuo obtiene energía del alimento y esa energía puede ser destinada a crecimiento, reproducción o actividad. De acuerdo con von Bertalanffy (1938) el crecimiento en los peces es el resultado neto de dos procesos opuestos, el catabolismo y el anabolismo. Los procesos anabólicos involucran a la síntesis de proteínas, mientras que los catabólicos son su degradación:

$$dw/dt = HW^d - kW$$

donde: dw/dt es el cambio en el peso del cuerpo por unidad de tiempo

H: es el coeficiente de anabolismo

k: el de catabolismo.

Aquí el proceso anabólico es proporcional a una potencia del peso, en cambio el catabolismo es proporcional al peso mismo (Bertalanffy 1938, Pauly 1984). La integración de la ecuación anterior deriva en el modelo de crecimiento más usado en los peces que es la ecuación de von Bertalanffy. En el curso de la integración el peso se expresa como una función de la longitud y entonces es posible estimar el crecimiento tanto en longitud como en peso (ver "Más sobre modelos de crecimiento").

En los peces el crecimiento corporal presenta ciertas características distintivas, siendo una de las más importantes que sea muy plástico y por esto resulta un indicador importante de la salud, producción poblacional y calidad del hábitat. El tamaño corporal no tiene una relación estricta con la edad ni tampoco posee un máximo definido. Es así que pueden observarse importantes diferencias en las tasas de crecimiento de las poblaciones de la misma especie en diferentes ambientes. Lo expuesto hace que se marque un claro contraste con respecto a vertebrados superiores (aves y mamíferos) en los que la talla tiene relación con la edad durante las primeras etapas de la vida y alcanzada la madurez el tamaño permanece constante.

La ecuación de von Bertalanffy expresada en longitud (figura 1) dice que:

$$L_t = L\infty\left(1 - e^{-k(t-t_0)}\right)$$

donde L_t: es la talla a un determinado tiempo (t),

$L\infty$: es la longitud máxima asintótica

k: es la constante de crecimiento

t_0: es la edad de los peces cuando, hipotéticamente, tienen "longitud cero" o época de nacimiento.

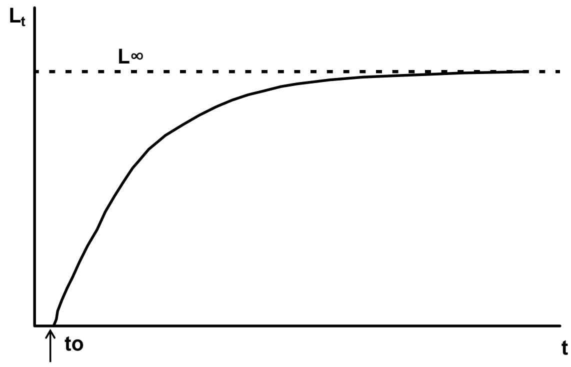


Figura 1. Representación gráfica del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. Parámetros descriptos en el texto.

Para estimar el crecimiento individual de los peces aplicando el modelo de von Bertalanffy es necesario conocer algunos parámetros. Necesitamos saber primeramente la relación que existe entre la edad de los individuos y su longitud.

Determinación de la edad

La determinación de la edad de los individuos de una población constituye un elemento fundamental cuando se encaran estudios demográficos. Los parámetros determinados a partir de la edad (mortalidad, crecimiento, etc.) son la base de los modelos de dinámica de poblaciones utilizados en el análisis de pesquerías. De los estudios de edad pueden ser establecidos otros datos básicos, como la estructura de edad de la población, la edad de primera madurez, las respuestas individuales y poblacionales frente a cambios en el hábitat, el éxito del reclutamiento, etc. Además, los datos de edad y crecimiento permiten determinar los cambios en la población causados por las tasas de explotación sobre todo en pesquerías marinas (Morales-Nin 1991).

Existen varios métodos para la determinación de la edad en los seres vivos, en particular para los peces los tres métodos más comunes siguiendo a Devries y Frie (1996) son:

(1) Observación de los individuos: es el más preciso y directo de los métodos. Esta técnica puede implicar mediciones directas del crecimiento de algunos ejemplares y extrapolación al total de la población. La estima directa puede llevarse a cabo por el marcado y posterior recaptura de los peces, o por el seguimiento del crecimiento de peces de edad conocida mantenidos en cautividad.

(2) análisis de frecuencia en longitudes: sirve para separar grupos de edad bajo la suposición de que la distribución de tallas en cada grupo de edad es normal (o al menos unimodal) alrededor del valor más frecuente. Para las especies en las que no es posible o es muy difícil asignar la edad por medio de estructuras duras, como por ejemplo los peces tropicales, ésta es una herramienta muy útil. En su forma más sencilla se lo llama método de Petersen. Consiste en recolectar una muestra de la población lo suficientemente grande utilizando un muestreador que no sea selectivo por talla o bien luego de realizado

el muestreo efectuar las correcciones por selectividad necesarias para que la muestra sea representativa de la estructura de talla de la población. Luego se grafica la frecuencia de individuos en función de la longitud (figura 2). Estos métodos se basan en la asunción de que cada una de las clases modales en la distribución de frecuencias corresponderá a una cohorte y representa diferentes clases de edad a intervalos de tiempo regulares. Este procedimiento que parece relativamente sencillo al principio no lo es tanto en la práctica. Cuando los peces son más viejos es difícil asignarles una edad y si en la población hay más de una cohorte es complicado determinar a cuál pertenecen, ya que los adultos crecen más lentamente, son menos numerosos y hay una gran variación entre individuos. Por lo tanto hacia las tallas más grandes, podríamos tener mezcla de individuos de distintas cohortes (Maroñas et al. 2003).

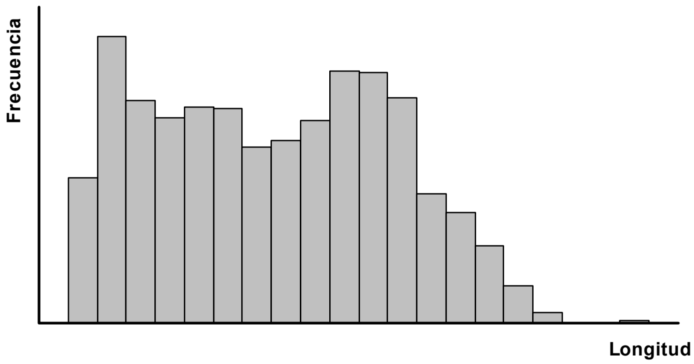


Figura 2. Distribución de frecuencias por intervalo de tallas.

En la figura 2, está representada la distribución de tallas de una población en un determinado momento. Resulta una distribución polimodal. El primer paso es separar esta distribución polimodal en sus componentes unimodales. En el proceso de selección de modas se han utilizado diversos acercamientos. Las primeras técnicas se basaron en la separación visual de las modas. Luego se utilizaron métodos gráficos para distinguir los grupos de edad, graficando manualmente sobre papel probabilístico la frecuencia de la normal acumulada (Cassie, 1954) (ver Apunte "Crecimiento individual: curvas polimodales"). Con posterioridad surgieron métodos computarizados (Pauly, 1984) y los últimos acercamientos para resolver el problema son a través de la implementación de métodos estadísticos que utilizan, por ejemplo, estimaciones por medio de expresiones de máxima verosimilitud.

Luego de separadas las componentes unimodales, se les asigna una edad relativa a cada una y así resulta asociada la edad relativa con un tamaño del pez (longitud modal).

(3) <u>análisis de partes duras</u>: es uno de los métodos más usado para determinar la edad en los peces. Pueden usarse: escamas, otolitos, espinas, opérculos, vértebras o dientes, dependiendo del grupo de peces con los que se está trabajando. Su uso se basa en la aparición de marcas de crecimiento, porque dadas las condiciones del ambiente los peces tienen crecimiento más rápido (primavera – verano) o más lento (otoño – invierno) que se refleja en ellas. A partir de esto se deduce que son útiles cuando los organismos viven bajo un ambiente que presenta un cierto grado de estacionalidad. Históricamente, las escamas han

sido las partes duras más utilizadas porque para su remoción no se necesita sacrificar al individuo como en las restantes estructuras duras. Como se deduce de lo dicho, se relaciona la longitud del pez con el tamaño de la escama y a partir de esto es posible calcular la talla de los individuos en el momento de marcación. Consideraciones similares se hacen con las restantes partes duras.

En general, cuando es posible, se aplican los métodos (2) y (3) en forma complementaria. El método (1) plantea varias dificultades de orden práctico cuando, por ejemplo, se utiliza el marcado y la liberación al medio (pérdidas de las marcas, baja probabilidad de recaptura, mortalidad por manipulación, etc.) o cuando se tiene a los peces en cautiverio (necesidad de instalaciones adecuadas dependiendo del grupo con el que se trabaja, alimentación, etc.).

Estimación del crecimiento individual con métodos basados en el análisis de datos de frecuencia por clases de longitud

Estos métodos tienen su origen en el trabajo de Petersen (1892) y en los realizados en años siguientes, pero tradicionalmente, el nombre de Petersen ha sido asociado con sólo una de las aproximaciones específicas comúnmente usadas. Así Pauly (1983), distingue tres métodos para el análisis de información sobre frecuencias por clases de longitud:

1. El "método de Petersen", ya comentado, para asignación de la edad
2. El análisis de progresión de las clases modales
3. Una combinación de los métodos 1 y 2 que se llama "método integrado".

El segundo método se basa en establecer la correspondencia adecuada entre los valores modales de la distribución de frecuencias de varias muestras de peces obtenidas a través del tiempo, conectando las modas mediante líneas rectas (Figura 3).

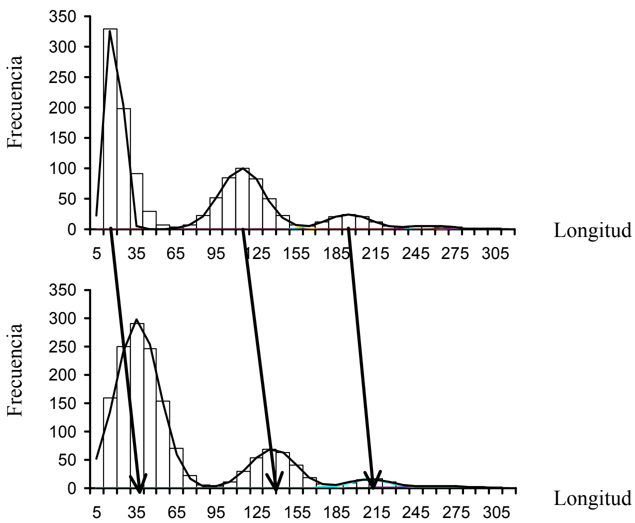


Figura 3. Ejemplificación del análisis de progresión modal, considerando dos fechas de muestreo sucesivas.

El método integrado es una combinación de ambos procedimientos pero trazando una curva de crecimiento de von Bertalanffy utilizando las longitudes modales (obtenidas de la descomposición polimodal), ordenadas sobre el eje temporal (ej: Freyre et al 2005).

El método integrado se basa en que:

1) el crecimiento en los peces es rápido al comienzo; luego decrece suavemente para el total de la población, se encuentra mejor representado por una larga curva continua que por varios segmentos cortos y rectilíneos.
2) es probable que una curva de suave pendiente, que conecte la mayoría de los valores modales de la secuencia ordenada de muestras de frecuencia de longitud, sea representativa del crecimiento promedio de los peces de un determinado ambiente.
3) las pautas de crecimiento se repiten año a año.

Los siguientes pasos ilustran las principales características del "método integrado":

1) Los intervalos sobre el eje temporal entre las muestras deben ser proporcionales al tiempo transcurrido entre la toma de cada muestra. Es común que cuando las muestras se toman a lo largo del año se transforme la fecha de muestreo en partes de año (entre 0 y 1). Para hacer la transformación se utiliza la expresión

$$partes\ de\ año = \left[(mes-1)*30+días\right]/365$$

2) La información original debe ser graficada dos o más veces a lo largo del eje temporal, lo que permite el dibujo de curvas de crecimiento más largas y estabilizadas, y que todos los grupos de edad más destacados queden incluidos.
3) Cuando se dibujan varias curvas de crecimiento (reflejando la producción de varios desoves al año o cohortes) tendrían que tener la misma forma, y variar sólo en lo relativo a su origen. Sin embargo, suele observarse que cohortes pertenecientes a distintas épocas del año muestran distintas constantes de crecimiento.
4) La escala de tiempo debería comenzar en cero, lo cual permite la identificación aproximada de los períodos de desove.
5) Cada curva de crecimiento debe relacionar varios valores modales. Cuando mayor sea el número vinculado, mayor será la posibilidad de obtener una adecuada descripción de las pautas de crecimiento de la población.

Estimación de los parámetros de la curva de crecimiento de von Bertalanffy a partir de la información de talla-edad

Como ya se dijo el modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy se expresa:

$$L_t = L\infty\left(1-e^{-k(t-t_0)}\right)$$

Esta ecuación, como se muestra en la figura 1, tiene una forma exponencial. Para su cálculo es necesario transformarla en una recta aplicando logaritmos, por lo cual:

$$L_t = L\infty - L\infty\, e^{-k(t-t_0)}$$
$$L\infty - L_t = L\infty\, e^{-k(t-t_0)}$$
$$L\infty - L_t / L\infty = e^{-k(t-t_0)}$$
$$\ln(L\infty - L_t / L\infty) = -kt + kt_0$$

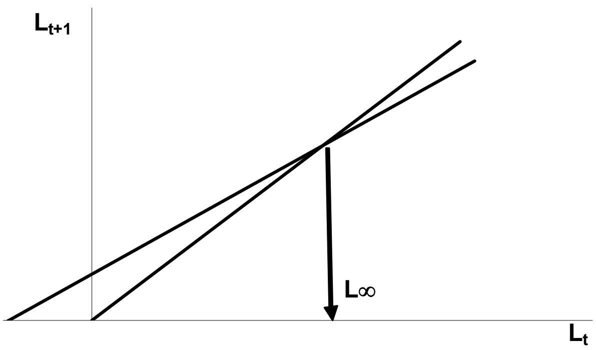
Esta última expresión tiene la forma de una recta $y = bx + a$ donde

$$y = \ln(L\infty - L_t / L\infty)$$
$$x = t$$

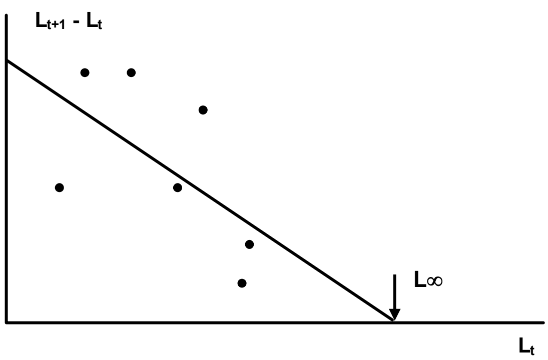
con pendiente $-k$ y ordenada al origen kt_0.

Como se puede ver, debemos estimar cuál es el valor de $L\infty$ para poder calcular y. Luego, con los pares x, y realizamos la regresión. Existen varios métodos para la estimación del parámetro $L\infty$, de los que mencionaremos:

a. <u>Método de Ford-Walford</u>: teniendo las estimaciones de L para la edad t puede representarse gráficamente L_{t+1} contra L_t. La intersección de la función con la bisectriz (cuando $L_{t+1} = L_t$) será una estimación de $L\infty$.



b. <u>Método de Gulland (1971):</u> si se realiza el gráfico de los incrementos $L_{t+1} - L_t$ contra el largo inicial L_t la intercepción de la recta que describe la función con el eje L_t será una estimación de $L\infty$.



c. Método de Taylor: varios autores notaron que existe una relación entre la longitud máxima registrada (*Lmax*) en la población y el valor de $L\infty$. Taylor (1958) sugiere que esta relación sería

$$L\infty = L\max / 0{,}95$$

Obtenido el valor de $L\infty$ y realizada la regresión lineal, estimamos el valor de t_0 a partir del valor de la ordenada al origen como:

$$t_0 = a/k$$

Con este último paso hemos concluido con la estimación de las constantes incógnitas de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (k, $L\infty$ y t_0) y estamos en condiciones de estimar los valores de longitud (L_t) para distintos valores de tiempo (t).

Crecimiento estacional

En cuerpos de aguas bajo un régimen climático subtropical y más aún, templado, el crecimiento de los peces no es constante a lo largo del año. En épocas cálidas, en las que existe una mayor disponibilidad de alimento, el crecimiento es más rápido que cuando las temperaturas son más bajas. La inclusión de un elemento sinusoide, con un período de un año, en el modelo de crecimiento de von Bertalanffy mejora mucho el ajuste (figura 4). Comúnmente se la cita en la bibliografía como:

$$L_t = L\infty\left(1 - e^{-\left[k(t-t_0) + C\frac{k}{2\pi}sen(2\pi(t-ts))\right]}\right)$$

donde $L\infty$, k y t_0 son los parámetros de la ecuación no estacionalizada mientras que C expresa la amplitud de la oscilación del crecimiento y ts el inicio de la sinusoide respecto de t_0.

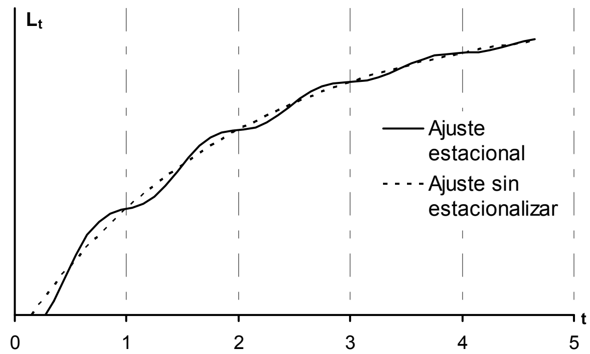


Figura 4. Representación gráfica del ajuste de la curva de crecimiento utilizando el modelo estacionalizado y sin estacionalizar.

El valor de C está definido de forma tal que si $C = 1$, la tasa de crecimiento es 0 una vez al año. Los valores de $0 < C < 1$ indican una disminución de la tasa de crecimiento en invierno y $C = 0$ se corresponde con el ajuste no estacionalizado del modelo. Cuando $C > 1$ no implica que la longitud de los peces se reduzca durante el invierno sino que el período en que los peces no crecen dura algunas semanas o meses. El parámetro *ts* está definido de forma tal que *ts* + 0,5 es el 'punto de invierno' o sea el momento del año en que es menor la velocidad de crecimiento.

Más sobre modelos de crecimiento

Partiendo de la base, como se mencionó en el comienzo, que el crecimiento de un organismo implica un cambio de tamaño a través del tiempo, este cambio también puede expresarse en peso. Como para los peces la medida más frecuentemente registrada es la longitud se deben utilizar modelos que relacionen estas dos medidas.

El modelo más sencillo de considerar es el *isométrico*:

$$W = a\,L^3$$

En este modelo el peso (*W*) tiene una relación cúbica con *L* y *a* es un parámetro que se determina a partir de los datos. Sin embargo, en los peces esta relación no se ajusta bien en la mayoría de los casos, y sí lo hace el denominado modelo alométrico:

$$W = a\,L^b$$

en el cuál *a* y *b* son constantes. Para obtener estos valores es necesario transformar la ecuación en una recta, mediante logaritmos, de forma tal que:

$$\log W = \log a + b\ \log L$$

A partir de la relación anterior podemos escribir el modelo de crecimiento de von Bertalanffy en peso (figura 5):

$$W_t = W\infty\left(1 - e^{-k(t - t_0)}\right)^b$$

donde $W\infty$ es el peso asintótico, *b* es el coeficiente de alometría y todos los restantes parámetros son los mismos que los del modelo en longitud.

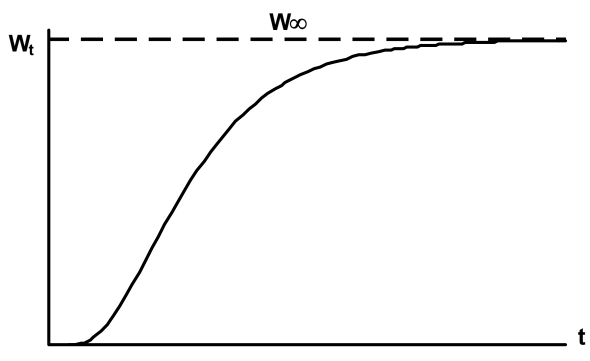


Figura 5. Representación gráfica del modelo de crecimiento de von Bertalanffy expresado en peso. (Parámetros descriptos en el texto).

Bibliografía

Beralanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth . Hum. Biol. 10 (2)Ñ 181-213.

Cassie, R. M. 1954. Some uses of probability paper in analysis of size frecuency distributions. Australian Journal or Marine and Freshwater Research 5: 513-522.

Devries, D. R. and R. V. Frie. 1996. Chapter 16. Determining of age and growth. Pages 483-512. In: B. R. Murphy and D. W. Willis, editors. Fisheries Techniques, 2nd edition. American Fisheries Society, Veteas, Maryland.

Freyre, L. R., M. E. Maroñas, E. D. Sendra y A. Dománico. 2005. Análisis de progresión modal de Bryconamericus iheringi (Boulenger, 1887) en la laguna Lacombe provincia de Buenos Aires. Biología Acuática 22: 123-130.

Maroñas, M. E.; G. A. Darrigran; E. D. Sendra y G. Breckon. 2003. Shell growth of golden mussell, Limnoperna fortunei (Dunker, 1857) (Mytilidae), in the Río de la Plata, Argentina. Hidrobiología 495: 41-45.

Morales-Nin, B. 1991. Determinación del crecimiento de peces oseos en base a la microestructura de los otolitos. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 322. Roma.

Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters a manual for use with programable calculators. ICLARM Studies an Reviews 8, 325p. International Center for Living Aquatic Resouces Managemente, Manila, Phlippines.