

# Modelos de dinámica poblacional y evaluación de stock

Billy Ernst

Departamento de Oceanografía

Universidad de Concepción

Chile

# Que es evaluación de stock?

*“Los modelos pesqueros de evaluación de stock permiten desarrollar **análisis demográficos** diseñados para determinar el efecto de la pesca sobre las poblaciones de peces y **evaluar las consecuencias** de prácticas alternativas de cosecha” (Methot and Wetzel, 2013)*

Stock status – Productividad – Análisis de alternativas de manejo

# Que es evaluación de stock ?

- “Contar peces es como contar árboles, excepto que ellos son invisibles y se mueven”.

*John Shepherd quoted by Hilborn*

- “Habitualmente, nosotros vemos a los peces cuando son capturados ... de tal forma que al estudiar las poblaciones de peces, se tiende a obtener pequeñas piezas de información por aquí y por allá. Estos pedacitos de información son como la punta de un iceberg; son parte de una historia mucho más grande. Nuestro trabajo es armar el puzle. Somos en verdad detectives y reunimos pruebas para armar una historia coherente”

*The ecological detective, 1997*

# Objetivos en la evaluación de stock

- Asimilar toda la información para comprender el sistema y proveer de consejo en el manejo pesquero
- Representar el nivel de incertidumbre al hacer inferencia y proveer de asesoría científica

# Fuentes de Información

- Base científica
  - e.g. aspectos fundamentales de dinámica poblacional, modelo conceptual
  - Se utiliza para desarrollar modelos
- Datos
  - e.g. datos de captura y esfuerzo
  - Se utiliza como información para calibrar los modelos o como forzantes
- Similitudes con otras especies
  - Utilizar valores de parámetros de otros stocks o especies (e.g. M)
  - Utilizado para proveer de información sobre parámetros del modelo o dar estructura
- Opinión experta
  - e.g. a historian considers catch to be substantial for many years before historical records were kept
  - Se utiliza para refinar supuestos del modelo
- Anécdotas
  - Se utiliza para estructurar el modelo conceptual y refinar supuestos

# Tipos de datos

- Captura
- Descartes
- Esfuerzo
- Índices de abundancia (e.g. Evaluación directa, CPUE)
- Captura a la edad
- Captura a la talla
- Error de medición de edad
- Relación edad longitud
- Relación longitud peso
- Peso medio (i.e. Número y peso de la captura)
- Marcaje y recaptura
  - Incrementos en talla
  - Números liberados y recapturados
  - Migraciones (posiciones, distancias, conectividad)

# Áreas disciplinarias asociadas a evaluación de Stock

- **Modelación:** como se describen las hipótesis alternativas
- **Estadística:** como comparar modelos y datos
- **Simulación y programación:** como implementar los modelos
  - Excel: calibrar modelos simples a datos, manipulación de datos
  - R: automatizar procesos, se acelera los cálculos computacionales, generalización
  - ADMB: Construcción y calibración de modelos de diversa complejidad, mayor velocidad computacional
  - SS3: Plataforma de modelación para modelos de stock assessment de diversa complejidad

# Uso de modelos en pesquería

- Estudio de dinámica poblacional (como cambian las poblaciones en el tiempo), bajo una óptica cuantitativa
- Hipótesis de dinámica poblacional: cuales son las relaciones entre individuos o poblaciones y sus tasas asociadas
- Matemáticas es el lenguaje natural para expresar estas relaciones



# Usos típicos de los modelos

- Para explorar las consecuencias de hipótesis alternativas: (Cuanto puedo capturar?)
- Para clarificar ideas sobre relaciones dentro del sistema: (Cual es el rol de la predación?)
- Para investigar en que grado las diversas hipótesis son respaldadas por los datos: (Que modelo es mejor?)
- Ayuda a coordinar investigación:  
(Que tipo de datos coleccionar?)
- Para diseñar programas de manejo  
(Que reglas de cosecha funcionan mejor?)

# Tipos de modelos matemáticos

- Modelos estadísticos
- Modelos dinámicos
  - Estocásticos y determinísticos
  - Discretos o continuos
  - Agregados
  - Basados en estadíos
  - Estructurados por talla
  - Estructurados por edad
  - Individualmente basados

# Modelos estadísticos

- Predicciones del modelo dependen de valores observados y algunos parámetros
- Regresión lineal múltiple:

Valores observados

Predicción del modelo

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

Parámetros a estimar

The diagram illustrates the components of the multiple linear regression equation  $Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$ . The variable  $Y$  represents the predicted value, indicated by a blue arrow from the text 'Predicción del modelo'. The variables  $X_1$  and  $X_2$  represent the observed values, indicated by magenta arrows from the text 'Valores observados'. The coefficients  $b_0$ ,  $b_1$ , and  $b_2$  represent the parameters to be estimated, indicated by green arrows from the text 'Parámetros a estimar'.

# Modelos dinámicos

- Valores depende de condiciones del pasado, constantes y cualquier perturbación
- Crecimiento poblacional exponencial:

$$N_{t=0} = N_0$$

Población inicial

$$N_{t+1} = rN_t$$

Número en el siguiente paso de tiempo

Número en el tiempo  $t$

Tasa intrínseca de crecimiento poblacional

The diagram illustrates the exponential population growth model. It consists of two equations. The first equation,  $N_{t=0} = N_0$ , shows the population at time  $t=0$  is equal to the initial population  $N_0$ . A green arrow points from the text 'Población inicial' to  $N_0$ . The second equation,  $N_{t+1} = rN_t$ , shows the population at the next time step  $t+1$  is equal to the current population  $N_t$  multiplied by the intrinsic growth rate  $r$ . A blue arrow points from the text 'Número en el siguiente paso de tiempo' to  $N_{t+1}$ . Another blue arrow points from the text 'Número en el tiempo  $t$ ' to  $N_t$ . A green arrow points from the text 'Tasa intrínseca de crecimiento poblacional' to  $r$ .

# Componentes de modelos de dinámica poblacional

- Variables de estado
- Parámetros
- Forzantes
- Reglas de cambio
- Variables de estado. En el futuro dependen del estado actual, los parámetros, forzantes (perturbaciones externas) y reglas de cambio

# Variables de estado

- Descripción completa del estado actual del sistema – aquellos elementos que cambian en el tiempo (Biomasa, abundancia a la edad, potencial reproductivo)

# Parámetros

- No cambian en el tiempo y son las “constantes” que describen las tasas o límites, como tasa de crecimiento, sobrevivencia, capacidad de carga, tasas de fecundidad, tasas de movimiento, etc.

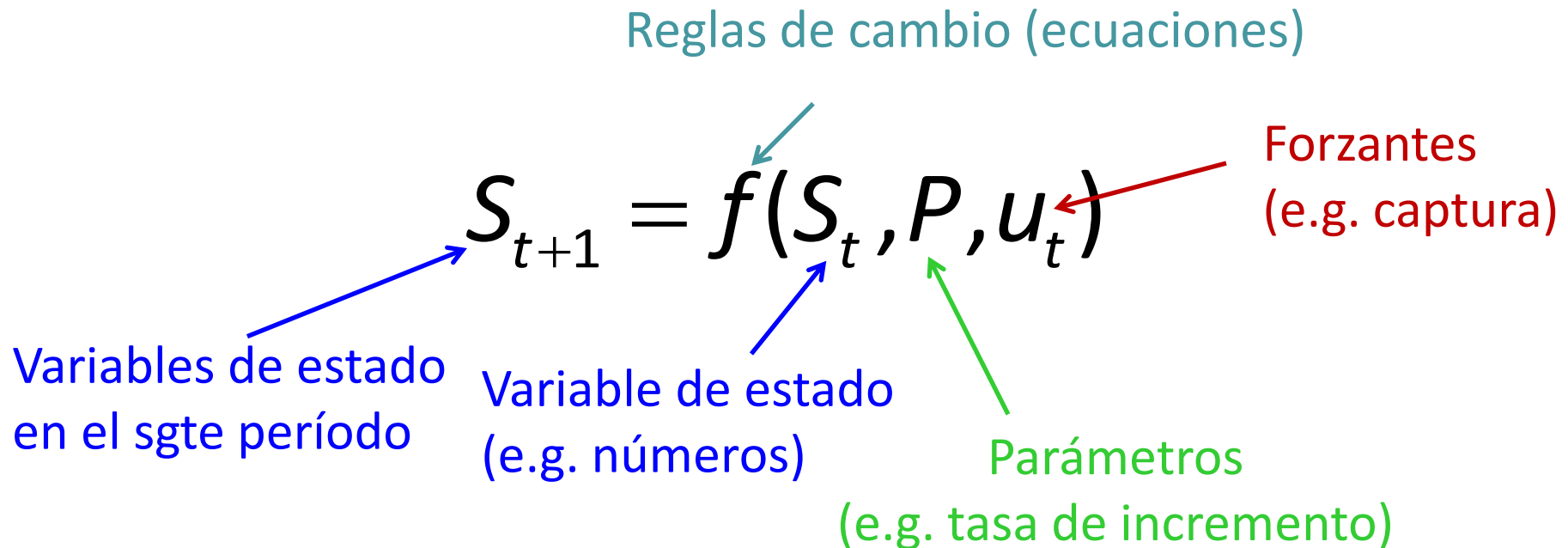
# Forzantes

- Naturales o humanos que afectan a las variables de estado
- Son “externos” al modelo – no se requiere modelar la dinámica de estos factores
  - *Ejemplos:* Impacto del cambio climático sobre la sobrevivencia, reproducción, captura



# Reglas de cambio (ecuaciones)

Estas ecuaciones describen como las variables de estado cambian en el tiempo en relación con su estado actual, los parámetros y los forzantes.



# Crecimiento poblacional logístico

(determinístico, dinámico, agrupado)

Número en el siguiente año es función de la abundancia actual, la producción neta y las remociones

$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right) - C_t$$

Tamaño poblacional tiempo  $t+1$

Tasa intrínseca de crecimiento poblacional

Producción neta

Captura en el tiempo  $t$

Capacidad de carga

The diagram shows the equation  $N_{t+1} = N_t + rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right) - C_t$ . Annotations include: a grey arrow pointing to  $N_{t+1}$  labeled 'Tamaño poblacional tiempo  $t+1$ '; a blue arrow pointing to  $r$  labeled 'Tasa intrínseca de crecimiento poblacional'; a yellow bracket above  $rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right)$  labeled 'Producción neta'; a red arrow pointing to  $K$  labeled 'Capacidad de carga'; and a teal arrow pointing to  $C_t$  labeled 'Captura en el tiempo  $t$ '.

# Test

$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right) - C_t$$

De este modelo logístico:

1. Cuales son variables de estado?
2. Cuales son parámetros?
3. Forzantes?
4. Reglas de cambio?
5. Condiciones iniciales?

# Respuesta

- Variable de estado,  $N$
- Parámetros  $K$  y  $r$
- Forzante:  $C$  (*captura*)
- Regla de cambio: La ecuación logística
- Condiciones iniciales  $N_{t=0} = N_0$

$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right) - C_t$$

# Componentes de las reglas de cambio

- Relaciones lógicas
  - Afirmaciones que son verdad por definición
  - $\text{Número el próximo año} = \text{Número este año} + \text{nacimientos} - \text{muertes} + \text{inmigración} - \text{emigración}$
- Relaciones funcionales
  - Especifica la relación entre variables de estado y tasas o algo que se relacione con las variables de estado (sobrevivencia como función de la densidad)

# En el caso de crecimiento logístico poblacional

- Relación lógica
  - Número de sobrevivientes el próximo año es el número sobrevivientes actuales + producción - captura
- Relación funcional
  - Producción neta  $= rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right)$

# Determinístico o estocástico

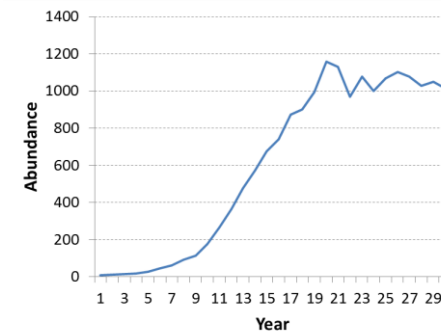
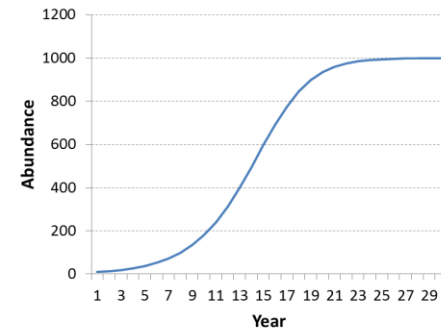
- Permitimos eventos aleatorios?
- Modelo determinístico

$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left(1 - \frac{N_t}{K}\right) - C_t$$

- Modelo estocástico

$$N_{t+1} = \left[ N_t + rN_t \left(1 - \frac{N_t}{K}\right) - C_t \right] e^{w_t}$$

donde  $w_t$  es una variable aleatoria con distribución (e.g. normal estándar)



# Contínuos vs discretos

- Modelos contínuos usan ecuaciones diferenciales

$$\frac{dN}{dt} = rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right) - C$$

- Modelos discretos usan ecuaciones de diferencias

$$N_{t+1} = N_t + rN_t \left( 1 - \frac{N_t}{K} \right) - C_t$$



# Tipos de modelos de evaluación

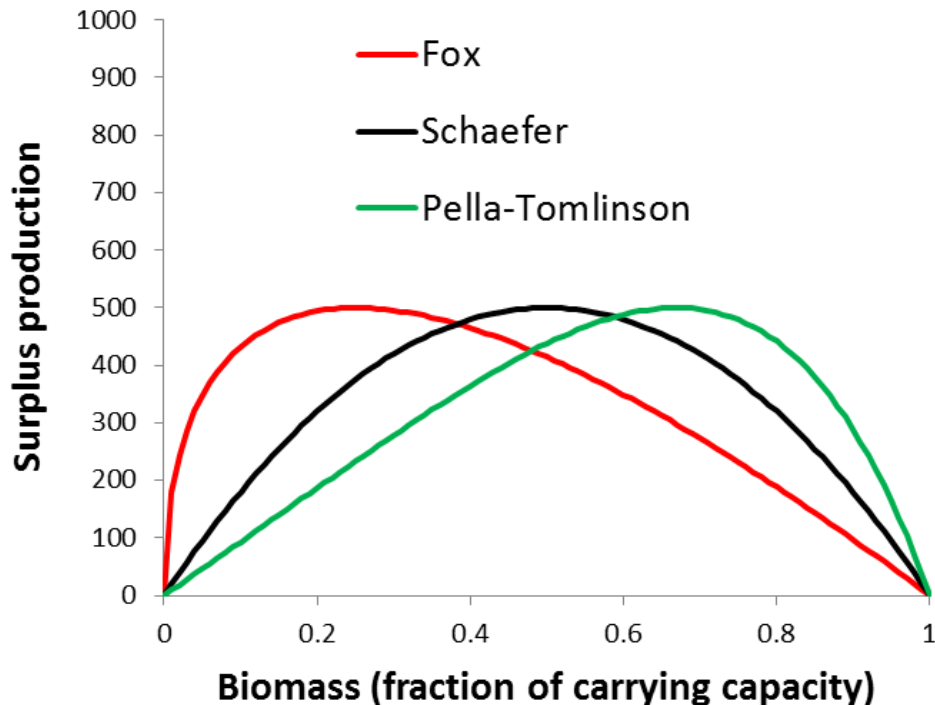
- Análisis de rendimiento por recluta
- Análisis de Stock - Recluta
- Modelos de producción
- Modelos de diferencias y retrasos
- Análisis de cohortes/VPA
- Modelos estadísticos estructurados por edades

# Más sobre modelos de evaluación de stock

- Modelos edad estructurados de captura a la talla
- Análisis integrado
- Modelos estructurados por talla
- Modelos individualmente basados
- Modelos espacialmente estructurados
- Modelos multiespecíficos
- Modelos ecosistémicos

# Modelos de producción

- Modela cambios en abundancia o biomasa
- Aglutina todos los procesos (reclutamiento, crecimiento, mortalidad natural) en una sola función
- Modelos clásicos
  - Fox
  - Schaefer
  - Pella-Tomlinson
- Carece de detalles de procesos biológicos



# Rendimiento por recluta (YPR)

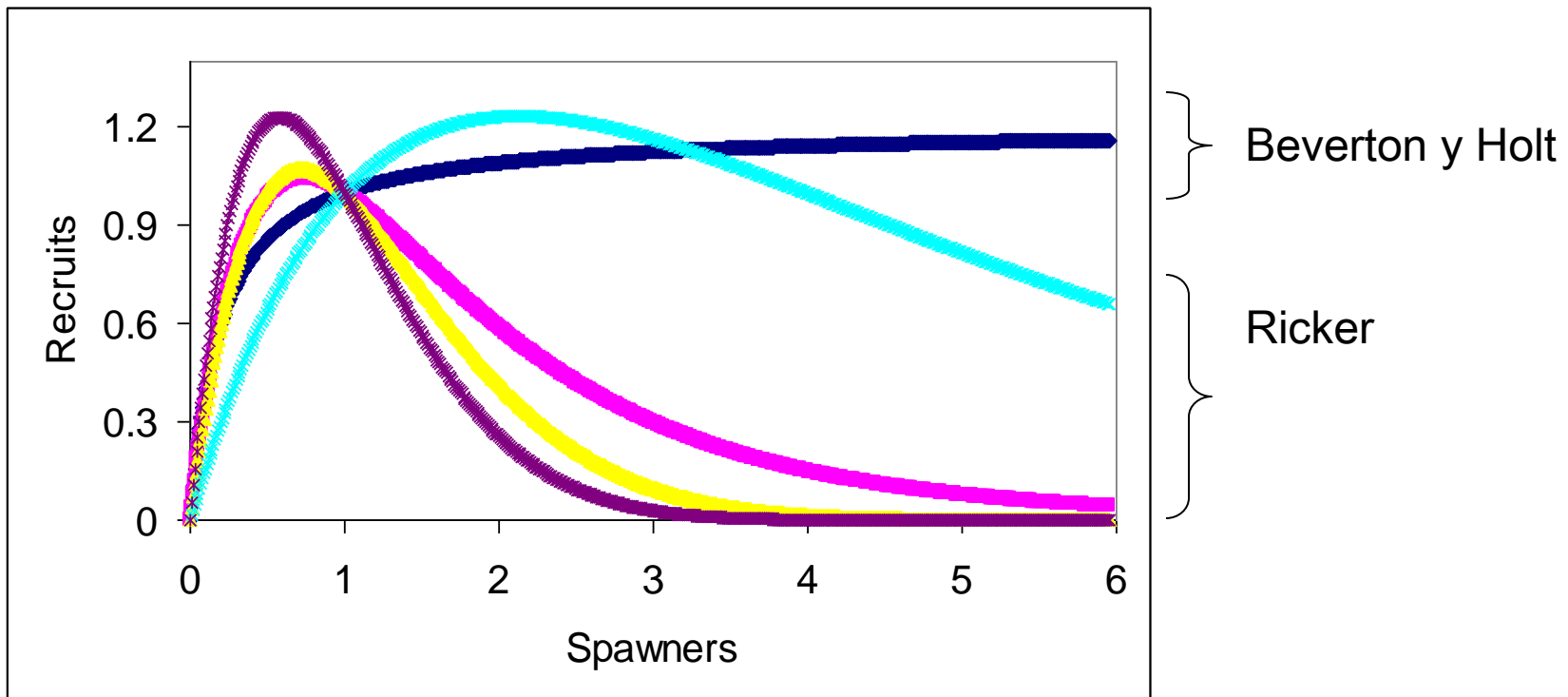
- Usa un modelo edad estructurado para obtener el rendimiento que se obtendría de un recluta, dado una selectividad y nivel de mortalidad natural.
- Requiere de mortalidad natural y crecimiento somático
- Usualmente utilizado para encontrar el nivel de mortalidad ( $F$  o  $u$ ) o Selectividad que maximiza el YPR
- Ignora el reclutamiento

# Análisis de Stock-reclutamiento

- Ajusta un modelo de stock – recluta a estimaciones de tamaño de stock desovante y reclutamiento, para estimar los parámetros del modelo
- En poblaciones semélparas se utiliza para determinar directamente parámetros de manejo (e.g. MSY)

# Stock-recruitment background

- Dependiendo en el tipo de densodependencia:
  - Reclutamiento se hace asintótico
  - Reclutamiento puede alcanzar un máximo y luego decae hacia cero

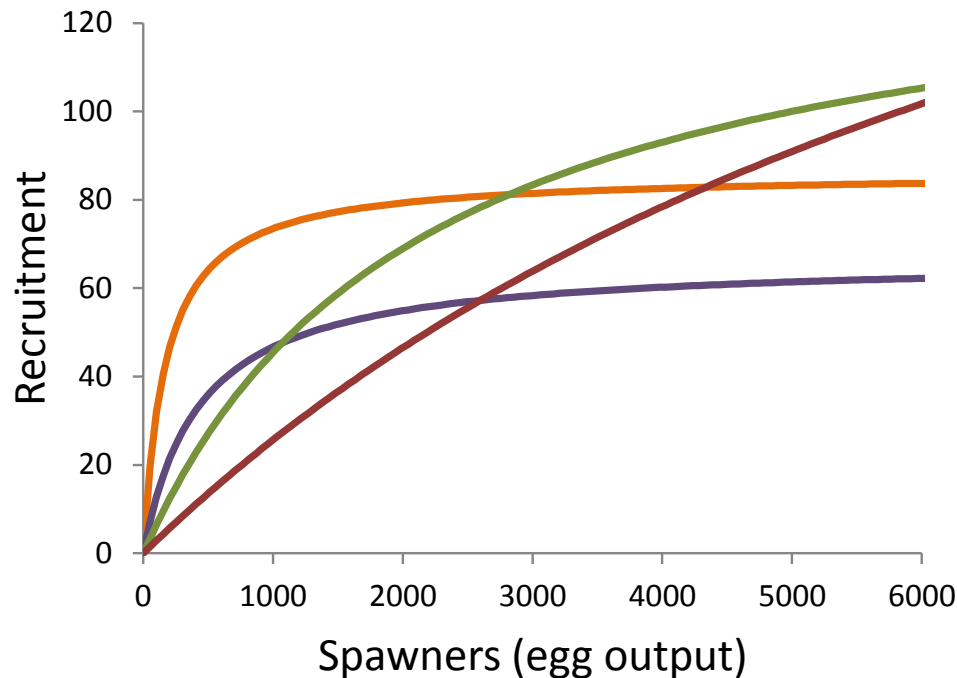


# Reclutamiento

$$N_{1,t+1} = g(E_t)$$

- Relación stock recluta de Beverton-Holt

Recruitment  $\rightarrow R_{t+1} = N_{a=1,t+1} = \frac{E_t}{\alpha + \beta E_t}$   $\leftarrow$  Spawners (egg output)



# Beverton-Holt

- Que es el reclutamiento virginal ( $R_0$ ) y el stock desovante virginal ( $E_0$ )?
- Existe mucho interés en estos parámetros dado que caracterizan la población sin pesca
- Solución: Reparametrización (usando  $R_0$  y steepness)

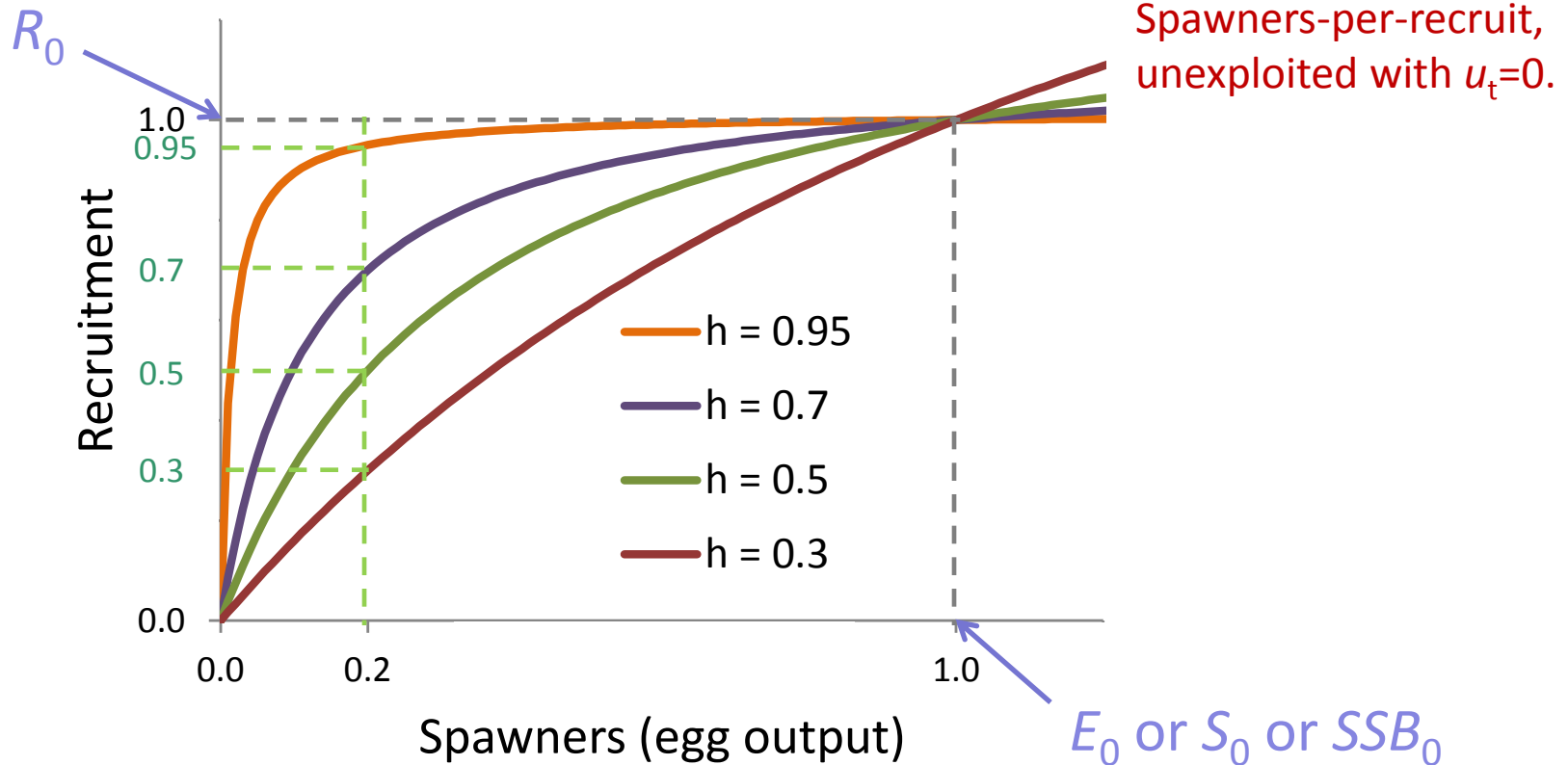


# Beverton-Holt con steepness ( $h$ )

$$\alpha = \frac{1-h}{4hR_0} S_0$$

$$\beta = \frac{5h-1}{4hR_0}$$

$$S_0 = SPR_0 \cdot R_0$$



# VPA/Análisis de cohortes

- Utiliza datos de captura a la edad para reconstruir la población
- Si sabemos cuantos individuos son removidos de una cohorte, haciendo los ajustes respectivos por mortalidad natural y sumando las abundancias para cada año no entrega una estimación de las abundancias de las cohortes.
- Se requiere estimar la abundancia en el último año o edad para cada cohorte (tuning)
- La calibración se puede hacer ajustando el modelo a índices relativos de abundancia (habitualmente edad específicos)

# Modelos estadísticos basados en edad

- Son extensiones de los modelos edad estructurados de producción para calibrar los modelos a datos de captura a la edad.
- No requiere de datos de captura a la edad para todos los años
- Puede dividir la data por pesquería
- Puede ser calibrado a otros tipos de datos (e.g. captura a la talla)
- Generalmente usa concepto de separabilidad (Selectividad es constante de año en año; VPA permite que la selectividad cambie cada año)

# Modelos estructurados por talla

- No hay estructura de edad en el modelo
- Los individuos son se desplazan entre los intervalos de talla en cada salto de tiempo basados en una matriz de transición
- Variabilidad en las tasas de crecimiento son un importante componente en el modelo (utilizados para construir la matriz de transicion)
- Selectitividad talla-específica
- pregunta: Son los procesos talla-basados, edad basados o ambos?

# Modelos espacialmente estructurados

- Múltiples poblaciones son modeladas simultáneamente
- Movimiento entre poblaciones
- Algunos parámetros pueden ser compartidos
- Relación Stock-recluta puede depender de una biomasa desovante combinada

# Pasos en la evaluación de stock

- Compile la información histórica sobre remociones
  - Dividir en categorías relevantes (e.g. tipo arte pesca)
  - Revise la historia de manejo de la pesquería, si esta disponible
- Organizar la información biológica
  - Hacer búsquedas bibliográficas, idealmente de organismos que están siendo analizados
- Indices de abundancia – Evaluaciones directas y de la pesquería
- Compilar información de edad y talla
  - De las evaluaciones directas y de la pesca
- Decida la estructura del modelo, calibre los modelos
  - Evalúe especificaciones de modelo alternativas