

Este documento ha sido descargado de:  
This document was downloaded from:



**Portal *de* Promoción y Difusión  
Pública *del* Conocimiento  
Académico y Científico**

**<http://nulan.mdp.edu.ar>**

## GESTIÓN DE LOS RECURSOS PESQUEROS. EI MODELO BIOECONÓMICO DE GORDON-SCHAEFER

Beatriz Lupin<sup>1</sup>, Lucía Keogan<sup>2</sup> & Agustina Muñoz<sup>2</sup>  
beatrizlupin@gmail.com; luciakeogan@hotmail.com; agustinamunoz92@gmail.com  
En memoria de Elizabeth Errazti

### Resumen

La Asignatura "Matemática para Economistas II" integra el ciclo profesional de la Carrera Licenciatura en Economía que se cursa en la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Durante el cursado de la misma, se realizan intervenciones pedagógicas tendientes a acercar al alumno a ámbitos y a situaciones reales, en donde deba poner en práctica los conocimientos adquiridos.

Una de las aplicaciones que se presenta es el Modelo de Gordon-Schaefer (1954), herramienta clásica para el estudio de la gestión de los recursos pesqueros. El mismo permite abordar el problema de la sobrepesca en pesquerías no reguladas. Supone condiciones simultáneas de equilibrio biológico y económico en una población pesquera a fin de deducir la curva de rendimiento sostenible a largo plazo, en función del esfuerzo. Parte de la ecuación diferencial indicada por Verhulst (1838) acerca del crecimiento logístico de una población.

Luego del desarrollo teórico del Modelo, la estrategia de enseñanza propuesta se completa con el análisis matemático-estadístico y económico de investigaciones empíricas por parte de los alumnos, con el soporte del software InfoStat Profesional®.

En la Ciudad de Mar del Plata, el Sector Pesquero cuenta con una amplia tradición cultural y es uno de los sectores productivos de mayor dinamismo económico. Participa con alrededor del 50% de las toneladas capturadas de peces

---

<sup>1</sup>Licenciada en Economía. Docente e investigadora. A cargo de las clases teóricas y de la coordinación general de la Asignatura "Matemática para Economistas II" e integrante del Grupo de Investigación "Economía Agraria". Facultad de Ciencias Económicas y Sociales-Universidad Nacional de Mar del Plata.

<sup>2</sup>Estudiantes avanzadas de la Carrera Licenciatura en Economía. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales-Universidad Nacional de Mar del Plata.

y mariscos por la pesca marítima de altura en el país (INDEC, 2012) y con el 69% del Producto Bruto Geográfico de la actividad primaria local (Atucha et al., 2012).

Palabras clave: Modelo de Gordon-Schaefer - modelos bioeconómicos - explotación pesquera - gestión de los recursos pesqueros - crecimiento logístico

Áreas temáticas: Aplicaciones en áreas vinculadas con la enseñanza de la Matemática en Ciencias Económicas utilizando herramientas informáticas.

## I. Introducción

Como se ha planteado en ocasiones anteriores (Lupin, 2014; Lupin et al., 2013), uno de los principales propósitos de la Cátedra "Matemática para Economistas II" -3er. año de la Carrera Licenciatura en Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales-Universidad Nacional de Mar del Plata- es vincular los temas desarrollados con problemáticas reales a fin de que los alumnos puedan visualizar la utilidad práctica de los mismos.

Siguiendo con dicha línea, en esta oportunidad, se presenta una actividad didáctica basada en el Modelo Bioeconómico de Gordon-Schaefer (1954), cuyo principal aporte fue haber clarificado el concepto de sobrepesca bajo libre acceso, dando inicio al análisis teórico de la economía de la pesca. (Bertolotti et al., 1988; Seijo et al., 2007)

Respecto al curso que nos ocupa, es de destacar que dicho Modelo parte de una ecuación diferencial acerca del crecimiento logístico de una población -Unidad I del Programa- y el hecho de referirse a una de las actividades económicas relevantes de la Ciudad; actividad en la que, posiblemente, ejerzan su profesión algunos de los futuros egresados. Asimismo, cabe mencionar que los alumnos cursarán, en 5to. año, una Asignatura propia del Sector Pesquero.

## II. La actividad pesquera

### II.1. Importancia del Sector Pesquero para la Ciudad de Mar del Plata



Puerto de Mar del Plata, junio 2014  
-Registro fotográfico original de Beatriz Lupin-

El Puerto de la Ciudad de Mar del Plata, es el cluster pesquero con mayor capacidad de procesamiento de pescado de la Argentina y uno de los más grandes a nivel mundial. Se habilitó, oficialmente, en el año 1922. Hasta principios de la década del '90, su operación y administración estuvo a cargo de la Nación. Luego, fue transferido a la Provincia de Buenos Aires, creándose, hacia fines del año 2000, el Ente Público No Estatal "Consortio Portuario Regional Mar del Plata",

delegándose en él su administración y explotación. (Gualdoni & Errazti, 2006; www.puertomardelplata.net)

Sus características básicas son la autonomía y la autarquía (Bertolotti et al., 2000<sup>3</sup> -Gualdoni & Errazti, op. cit.-). Posee rasgos particulares que lo distinguen de otros puertos, entre los que cabe mencionar: la naturaleza putrescible de la mercancía que maneja; ser puerto base de una flota estable constituida por una amplia gama de embarcaciones pesqueras; contar con un espacio para estadias y facilidades para reparaciones, mantenimiento y aprovisionamiento; generar una actividad comercial específica con la venta de la captura -primera venta- y poseer infraestructura urbana para la población pesquera. (Sánchez & Navarro de Gimballi, 1998<sup>4</sup> -Gualdoni & Errazti, op. cit.-)

Conforme a datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) del año 2012, concentra alrededor del 50% de las toneladas capturadas de peces y mariscos por la pesca marítima de altura en el país, básicamente de merluza común (*Merluccius hubbsi*) y de calamar illex (*Illex argentinus*). Asimismo, es el principal exportador de pescado congelado, de moluscos y de crustáceos (www.puertomardelplata.net).

La participación del Sector Pesquero en el Producto Bruto Geográfico (PBG) del Sector Primario local es del 69% -compuesto por: fresqueros de altura (38%), procesadores (23%) y fresqueros costeros (8%)-. Dicha participación, cae al 7% si se toma la totalidad del PBG marplatense. (Atucha et al., 2012)

Finalmente, es de destacar la impronta cultural de la comunidad italiana en el Puerto, con una identidad diferenciada dada por su origen inmigrante y por la pesca, su principal actividad económica. (Cacciutto & Barbini, 2012)

## II.2. Pesca responsable

La pesca constituye una fuente importante de alimentos, empleo, ingresos y esparcimiento. Si se quiere que haya pescado suficiente para las generaciones futuras, todos los actores intervinientes deberán contribuir a la conservación y a la ordenación de las pesquerías mundiales.

Dada esta premisa, más de 170 miembros de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) aprobaron, en el año 1995, el Código de Conducta para la Pesca Responsable. Como esta normativa es voluntaria, resulta imprescindible asegurar que todos los involucrados hagan suyos sus principios y objetivos y adopten medidas prácticas para aplicarla. "La

---

<sup>3</sup>Bertolotti, M. I.; Gualdoni, P.; Martín, M.; Errazti, E. & Pagani, A. (2000): "Puerto de Mar del Plata: análisis de los costos portuarios y medio ambiente laboral. Un enfoque cualitativo y cuantitativo de la actividad portuaria presente y futura". Informe Técnico. DNI-INIDEP N° 101, 04-012-2000.

<sup>4</sup>Sánchez, R. & Navarro de Gimballi, A. L. (1998): "La eficiencia de la industria portuaria de Santa Fe". Instituto de Investigación en Economía y Dirección para el Desarrollo (IDIED), Facultad de Ciencias Empresariales-Universidad Austral, Ciudad de Rosario-Provincia de Santa Fe, abril 1998, Serie Estudios 2.

ordenación de la pesca debe fomentar el mantenimiento de la calidad, la diversidad y la disponibilidad de los recursos pesqueros en cantidad suficiente para las generaciones presentes y futuras, en el contexto de la seguridad alimentaria, el alivio de la pobreza y el desarrollo sostenible" (Código de Conducta para la Pesca Responsable, artículo 6.2, FAO).

El recurso pesquero es un bien económico semi-público, más precisamente, es un bien común (common pool good) dado que es rival aunque no excluible<sup>5</sup>. Su manejo es un proceso complejo que requiere la integración de los factores biológicos, ecológicos, socio-económicos e institucionales que afectan al comportamiento de los usuarios -los pescadores- y de los responsables de su administración. Aun cuando los planes de manejo han mejorado sustancialmente a través del tiempo, muchos recursos pesqueros han llegado a niveles cercanos al colapso. (Ludwig et al., 1993<sup>6</sup> -Seijo et al., op. cit.-)

Puede estar sujeto a cuatro diferentes regímenes de propiedad: estatal, privada, común y acceso abierto. En condiciones de acceso abierto, no existe propiedad sobre el recurso; cualquier miembro de la sociedad, puede obtenerlo por apropiación directa. Sin restricciones ni limitaciones, se llega, inevitablemente a la sobreexplotación. Con libre acceso y dada la alta variabilidad espacio-temporal de la magnitud del recurso, un pescador no se beneficiará posponiendo su captura a fin de obtener peces más valiosos en el futuro, ya que otro pescador puede capturarlos. Se genera, así, un incremento en la competencia de los pescadores por capturar la mayor cantidad en el menor tiempo posible, ocasionando altos costos de exclusión. (Bromley, 1991<sup>7</sup>; Eckert, 1979<sup>8</sup> -Seijo et al., op. cit.-)

### III. Modelo Bioeconómico de Gordon-Schaefer

#### III.1. Marco teórico. Aplicación de ecuaciones diferenciales. Crecimiento logístico

Conforme el desarrollo de Haeussler Jr. et al. (2008), si el número de individuos de una población, en el tiempo, sigue una ley de crecimiento exponencial, entonces:

$$N = N_0 e^{zt}$$

Donde: N = tamaño de la población, t = tiempo, N<sub>0</sub> = tamaño de la población cuando el tiempo "t" es igual a 0, z = constante positiva.

IO1n

---

<sup>5</sup>Un bien es rival cuando la apropiación del mismo por parte de una persona disminuye las posibilidades de apropiación de los demás -un pez capturado por un pescador no está disponible para nadie más- y es excluible si es posible evitar que alguien acceda a él -es muy difícil evitar que otro pescador trate de pescar, en ausencia de regulación-. (Pindyck & Rubinfeld, 1998; Samuelson, 1954)

<sup>6</sup>Ludwig, D.; Hilborn, R. & Walters, C. (1993): "Uncertainty, resource exploitation and conservation: lessons from history". Science 260, 7-36.

<sup>7</sup>Bromley, W. D. (1991): "Testing for common versus private property: comment". Journal of Environmental Economics and Management 21, 92-96.

<sup>8</sup>Eckert, R. (1979): "The Enclosure of Ocean Resources". Hoover Institution Press, Stanford-California.

Dicha ley, asume que, en el tiempo "t", la tasa de crecimiento de la población es proporcional al número de individuos de la misma. Vale decir:

$$\frac{dN}{dt} = z N$$

102n

Con el paso del tiempo, la población en cuestión llegaría a ser infinitamente grande. Pero, en realidad, cuando una población llega a ser lo suficientemente grande hay efectos ambientales -tales como depredadores, falta de alimento, espacio insuficiente; etc.- que hacen más lenta la tasa de crecimiento. Así, en algún momento,  $dN/dt$  empieza a decrecer; el tamaño de la población está limitado a cierto número máximo (M), de manera que cuando  $N \dot{=} M$   $\emptyset$   $dN/dt \dot{=} 0$  y N tiende a ser estable.

Es posible obtener un modelo de población que tenga, inicialmente, un crecimiento exponencial pero que incluya los efectos ambientales, multiplicando el lado derecho de la ecuación 102n por el factor (M-N)/M:

$$\frac{dN}{dt} = z N \left( \frac{M - N}{M} \right)$$

103n

Dado que  $z/M$  es una constante, la misma se puede reemplazar por "Z":

$$\frac{dN}{dt} = Z N (M-N)$$

104n

La resolución de la ecuación diferencial anterior se realiza mediante el Método de Separación de Variables:

$$\frac{dN}{N (M-N)} = Z dt$$

105n

$$\int \frac{1}{N (M-N)} dN = \int Z dt$$

106n

$$\frac{1}{M} \ln \left| \frac{N}{M-N} \right| = Z t + C$$

107n

Como  $N > 0$  y  $(M-N) > 0$ , es apropiado retirar las barras de valor absoluto:

$$\ln \frac{N}{M-N} = Z t + C$$

108n

En forma exponencial:

$$\frac{N}{M-N} = e^{(MZ t + MC)} = e^{MZ t} + e^{MC}$$

109n

Al reemplazar la constante positiva  $e^{MC}$  por "A" y despejar "N", se obtiene:

$$N = \frac{M A e^{MZ t}}{A e^{MZ t} + 1}$$

110n

Si se divide el numerador y el denominador por  $A e^{MZ t}$  y se reemplaza  $1/A$  por "b" y  $MZ$  por "c", se llega a la siguiente expresión:

$$N = \frac{M}{1 + b e^{-c t}}$$

Función Logística de Verhulst-Pearl

111n

La misma proviene de la Demografía y recibe ese nombre en honor al matemático belga Pierre-François Verhulst (1804-1849)<sup>9</sup> quien la propuso como una posible solución al problema malthusiano<sup>10</sup> y al biólogo estadounidense

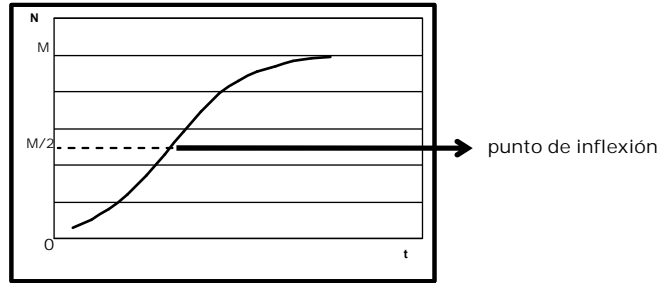
<sup>9</sup>Verhulst, P.-F. (1838): "Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement". Correspondance Mathématique et Physique. Quetelet 10, 113-121.

<sup>10</sup>Thomas Robert Malthus (clérigo anglicano y erudito británico, 1766-1834), en su libro "Ensayo sobre el principio de la población" (1798), postuló que mientras que la población tendía a crecer en progresión geométrica, los alimentos lo hacían en progresión aritmética, por lo que la situación se tornaría insostenible para la humanidad debido a la escasez de estos últimos.



Raymond Pearl (1879-1940)<sup>11</sup> quien la redescubrió y la aplicó en diversos trabajos (Martínez Rodríguez, 2008). Su representación gráfica tiene forma sigmoïdal:

Figura 1: Curva Logística



Fuente: Haeussler Jr. et al. (op. cit.).

### III.2. Modelo Rendimiento Excedente de Schaefer

Siguiendo a Seijo et al. (op. cit.), centrando el interés en el caso de los recursos pesqueros bajo explotación, se parte de la ecuación de Verhulst indicada por Graham (1935)<sup>12</sup>:

$$\frac{dB}{dt} = r B(t) \left( 1 - \frac{B(t)}{K} \right)$$

112n

Donde: r = tasa intrínseca de crecimiento poblacional, B(t) = biomasa de la población en el tiempo "t", K = capacidad de carga del ambiente, nivel de saturación del sistema. En la términos de la Ciencia Biológica, representa la "biomasa virgen".

Milner Bailey Schaefer, biólogo estadounidense (1912-1970), especialista en dinámicas poblacionales pesqueras, introdujo, en el año 1954, la expresión:

$$C(t) = q f(t) B(t)$$

113n

Donde: C(t) = tasa de captura en el tiempo "t", q = coeficiente de capturabilidad = fracción de la población que es extraída por unidad de esfuerzo, f(t) = esfuerzo de pesca -por ejemplo, número de viajes por embarcación, horas de pesca por arrastre; etc.- en el tiempo "t". Es el principal parámetro de explotación que puede controlar el hombre (Bertolotti, 1997), B(t) = biomasa de la población en el tiempo "t".

<sup>11</sup>Pearl, R. L. (1920): "La biología del crecimiento de la población". Knopf, New York.

Pearl, R. L. & Reed, L. J. (1920): "On the rate of growth of the population of the United States since 1871 and its mathematical representation". Proceedings of the National Academy of Sciences, 6, 275-288.

<sup>12</sup>Graham, M. (1935): "Modern Theory of Exploiting a Fishery and application to North Sea trawling". Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 10, 264-274.

La ecuación anterior implica que la misma captura se puede obtener a diferentes niveles de esfuerzo y biomasa. La limitante es que  $q$ , considerado constante para un período de tiempo determinado, no puede obtenerse sin una estimación independiente de la biomasa.

En el caso de pesquerías uniespecíficas, donde se emplea un mismo tipo de arte, el concepto de  $q$  ha sido aplicado debido a que el esfuerzo puede ser estandarizado. Por el contrario, si existe una alta diversidad de artes y de especies resulta difícil adosar a este coeficiente las complejidades que se presentan en el esfuerzo; así, la literatura especializada ha propuesto funciones de producción que brindan mejores aproximaciones, por ejemplo la Cobb-Douglas.

Los cambios en la biomasa se representan de la siguiente manera:

$$\frac{dB}{dt} = r B(t) \left( 1 - \frac{B(t)}{K} \right) - C(t)$$

114n

Cuando la población se encuentra en condiciones de equilibrio, los factores que hacen decrecer la biomasa -depredación y enfermedades, entre otros- están balanceados por aquellos que la aumentan -el crecimiento individual y el reclutamiento<sup>13</sup>-. Por ende, la biomasa en el tiempo no sufre cambios ( $dB/dt = 0$ ); el rendimiento en equilibrio queda definido así:

$$C(t) = r B(t) \left( 1 - \frac{B(t)}{K} \right)$$

115n

La biomasa de la población de equilibrio en función del esfuerzo de pesca es igual a:

$$B_e(t) = \left( 1 - \frac{q f(t)}{r} \right) K$$

116n

Para un determinado esfuerzo, la población de equilibrio ( $B_e$ ) alcanzará un nivel donde la tasa de captura es igual a la de crecimiento. A cada nivel de esfuerzo, existirá un nivel de población en equilibrio. Por lo tanto, la población de equilibrio y el esfuerzo pesquero se relacionan de manera inversa. Dicho comportamiento, se encuentra reflejado en la captura por unidad de esfuerzo

---

<sup>13</sup>Proceso según el cual los peces jóvenes entran en el área explotada y tienen la posibilidad de contactarse con las artes de pesca.

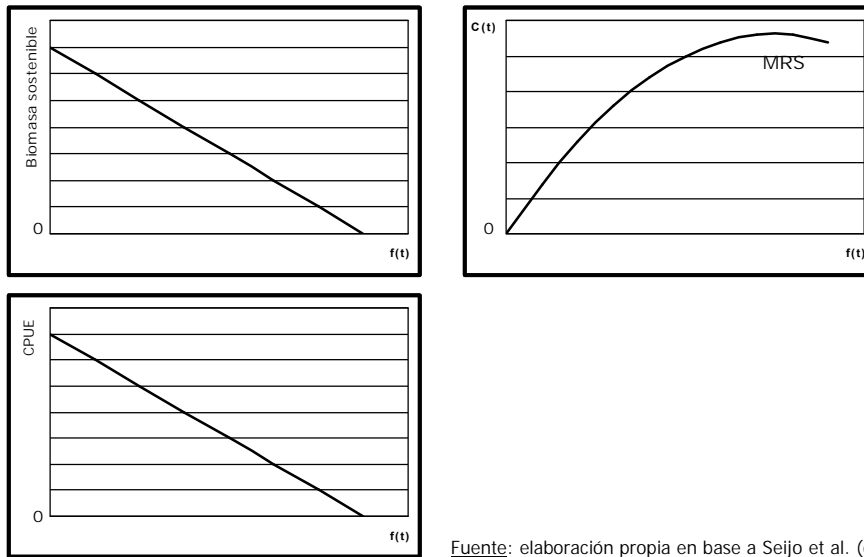
(CPUE), que es un índice relativo de la abundancia de la biomasa de la población en el tiempo. Si se sustituye  $I_{16n}$  en  $I_{13n}$ , se obtiene la función que relaciona la captura con el esfuerzo, bajo condiciones de equilibrio:

$$C(t) = q f(t) K \left( 1 - \frac{q f(t)}{r} \right)$$

117n

La función anterior es una parábola donde la captura ( $C(t)$ ) para un esfuerzo ( $f(t)$ ) específico, en una población de equilibrio, es el rendimiento sostenible (RS); las pérdidas por mortalidad natural y por pesca son compensadas por un incremento poblacional originado por los procesos de crecimiento individual y de reclutamiento. En el punto máximo de la curva, se encuentra el máximo rendimiento sostenible (MRS). Luego del mismo, a medida que aumenta el esfuerzo, la captura disminuye pues la población ya no puede reponer las pérdidas por mortalidad. Esta curva representa la función de producción a largo plazo de las pesquerías. Seguidamente, se presentan las figuras que ilustran el Modelo de Schaefer:

Figura 2: Modelo de Schaefer



Fuente: elaboración propia en base a Seijo et al. (op. cit.).

Los supuestos en los que se basa este Modelo son: equilibrio poblacional; el rendimiento de la población, en condiciones de equilibrio, se obtiene considerando que la mortalidad de la pesca ( $F$ ) es directamente proporcional al

esfuerzo:  $F = q f(t)$ ; la CPUE es directamente proporcional a la abundancia de la población:  $CPUE = C(t) / f(t) = q B(t)$ ; el recurso se mantiene en un ambiente físico estable, determinado por una  $K$  constante, se involucra una sola especie y la tecnología se encuentra dada.

En tanto, entre sus limitaciones se destacan: asumir equilibrio, dejando de lado procesos que gobiernan la productividad de un stock -por ej., reclutamiento-, muchos de los cuales tienen un alto grado de estocasticidad;  $q$  puede no ser constante; la CPUE no siempre es un índice insesgado de la abundancia relativa de una población -tal el caso de recursos sedentarios cuya distribución espacial no es homogénea-; no es fácil determinar el tamaño poblacional debido a la dificultad de obtener estimadores insesgados y por las fuentes de variabilidad presentes; se ignora la dinámica de la distribución espacial del recurso, los procesos biológicos que generan la biomasa, las interacciones inter e intraespecíficas y los efectos de las variaciones estocásticas en el medio ambiente y en la abundancia de la población; no toma en cuenta interdependencias biológicas y tecnológicas ni la asignación diferencial del esfuerzo en el corto plazo y, por último, agregar que la tecnología sí puede variar.

El Modelo de Schaefer requiere datos sobre la biomasa, la tasa de crecimiento poblacional y la capacidad de carga del ambiente, de difícil obtención. Dado lo anterior, diversos autores proponen una estimación alternativa del RS en términos de la CPUE. Aún así, en el caso de pesquerías multiespecíficas, se presenta el inconveniente de distinguir el esfuerzo efectivo aplicado a cada especie. Siguiendo esta línea, el rendimiento de equilibrio es igual a<sup>14</sup>:

$$R_e = r \left( \frac{CPUE}{q^2} \right) (CPUE_{\infty} - CPUE)$$

Donde:  $CPUE_{\infty}$  = tasa de captura del stock virgen.

118n

### III.3. Desarrollo del Modelo Bioeconómico Clásico de Gordon-Schaefer

Esta subsección, se basa en Seijo et al. (op. cit.) y en Flaaten (2010).

H. Scott Gordon, economista canadiense, especialista en la industria de recursos naturales, en el año 1954, derivó la curva de rendimiento incorporando conceptos económicos. Definió los beneficios económicos de la actividad pesquera de la siguiente manera:

---

<sup>14</sup>Es posible consultar el desarrollo de esta fórmula en Seijo et al. (op. cit.).

$$f(t) = IT - CT = P C(t) - CMeT f(t)$$

119n

Donde:  $\pi(t)$  = beneficio económico en el tiempo "t", IT = ingresos totales, CT = costos totales -incluye costos variables, costos fijos y costo de oportunidad<sup>15</sup>-, P = precio de la especie capturada -constante-, C(t) = tasa de captura en el tiempo "t", CMeT = costo medio total -constante-, f(t) = esfuerzo de pesca en el tiempo "t".

Si se sustituye 113n en 119n, se llega a la expresión alternativa de f(t):

$$f(t) = f(t) \frac{P q B(t)}{CMeT}$$

120n

Como en el modelo biológico, se suponen condiciones de equilibrio en la población para obtener el RS a largo plazo. En el equilibrio bioeconómico, se dan dos condiciones: 1)  $IT = CT \Leftrightarrow f(t) = 0$  -beneficios económicos normales-, no hay incentivos para entrar a la pesquería en cuestión y 2)  $(dB(t)/dt = 0)$ . La biomasa de equilibrio bioeconómico se deduce al igualar a 0 la expresión 120n:

$$B_{BE}(t) = \frac{CMeT}{P q}$$

121n

Bajo dichas condiciones,  $B_{BE}(t) > 0$  dado que f(t) disminuirá o cesará cuando  $IT < CT$ .

El Modelo permite pronosticar: 1) sobreexplotación, si CT intersecta a IT en un nivel de esfuerzo mayor al requerido para el MRS y 2) no extinción del recurso. Antes de que suceda lo anterior, deja de ser rentable ejercer esfuerzo sobre la especie en consideración. Cabe aclarar que esta predicción sólo será viable si y sólo si la biomasa de equilibrio bioeconómico supera a la biomasa umbral necesaria para la existencia de la población.

Al multiplicar miembro a miembro la ecuación 115n por el precio del producto pesquero (P), se obtiene la Curva de IT de Gordon:

122n

$$IT = P r B(t) \left( 1 - \frac{B(t)}{K} \right)$$

<sup>15</sup>Los costos variables son aquellos que dependen del nivel de operación -ejemplos: gastos derivados del uso de combustible, de carnada y de insumos varios, empleo de mano de obra; etc.-. Por su parte, son costos fijos los que no dependen del nivel de operación -tal el caso de ciertos gastos administrativos, seguros, alquileres-. Finalmente, los costos de oportunidad incluyen tanto los costos explícitos -los que aparecen visibles como, por ejemplo, salarios- como los costos implícitos -el valor de los recursos propios autoempleados-, en referencia a usos alternativos.

A fin de deducir la función de CT, a largo plazo, en función del esfuerzo, se parte de las expresiones I13n y I15n:

$$q f(t) B(t) = r B(t) \left( 1 - \frac{B(t)}{K} \right)$$

I23n

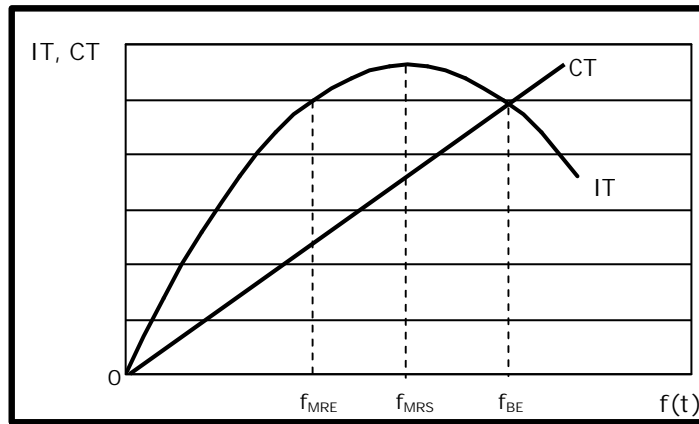
Luego, se despeja  $f(t)$  y se multiplica por CMeT:

$$CT = \frac{CMeT r \left( 1 - \frac{B(t)}{K} \right)}{q}$$

I24n

La Figura 3 expone gráficamente el llamado Modelo de Gordon-Schaefer en términos del "esfuerzo" ( $f(t)$ ):

Figura 3: Modelo Bioeconómico Clásico Estático de Gordon-Schaefer



Fuente: elaboración propia en base a Seijo et al. (op. cit.) y Flaaten (op. cit.).

En la Figura anterior, se observan tres niveles de esfuerzo de interés<sup>16</sup>:

• Nivel de Máximo Rendimiento Económico ( $f_{MRE}$ ) ➔ a ese nivel de esfuerzo, la pendiente de la Curva de IT es igual a la pendiente de la Curva de CT -Ingreso Marginal (IMg) = Costo Marginal (CMg)<sup>17</sup>, que es la condición de óptimo económico de una empresa representativa de cualquier estructura de mercado. Esa condición asegura que la diferencia vertical entre el IT y el CT es máxima; vale decir, se presentan beneficios económicos extraordinarios. En términos de Economía Pesquera, dicha diferencia vertical simboliza la renta económica máxima del recurso. Se conjugan los objetivos de lograr una máxima captura y un máximo beneficio económico (Bertolotti, op. cit.).

$$f_{MRE} = \frac{r}{2q} \left( 1 - \frac{CMeT}{p q K} \right)$$

125n

• Nivel de Máximo Rendimiento Sostenible ( $f_{MRS}$ ) ➔ dado que la Curva de IT de Gordon tiene la misma forma que la Curva de RS de Schaefer (Figura 2) pero en términos monetarios, este nivel de esfuerzo se corresponde con el valor máximo de la Curva de IT -IMg = 0-. La captura de pescado es máxima, hay renta económica pero la misma no es máxima.

$$f_{MRS} = \frac{r}{2q}$$

126n

• Nivel de equilibrio bioeconómico ( $f_{BE}$ ) ➔ se refiere al nivel de esfuerzo para el que IT = CT -IMe = CMeT<sup>18</sup>. Sin regulaciones -acceso abierto- y con rentas económicas extraordinarias, hay incentivos para que los participantes incrementen su esfuerzo. Asimismo, nuevos participantes se verán atraídos por las ganancias e ingresarán a la actividad. Este proceso culminará cuando los costos se incrementen y el recurso disminuya lo suficiente como para ocasionar una renta económica nula, precisamente al nivel de equilibrio bioeconómico. Pasado ese nivel, las rentas económicas se tornan negativas. (Bertolotti, op. cit.)

---

<sup>16</sup>Es posible consultar las derivaciones de 125n, 126n y 127n en Seijo et al. (op. cit.) y Flaaten (op. cit.).

<sup>17</sup>El IMg y el CMg son las representaciones gráficas de las pendientes de las Curvas de IT y de CT en cada punto, respectivamente. Desde la perspectiva del Modelo bajo estudio, indican la variación del IT y del CT al variar el esfuerzo en una unidad.

<sup>18</sup>En este contexto, el IMe y el CMeT indican el IT y el CT por unidad de esfuerzo.

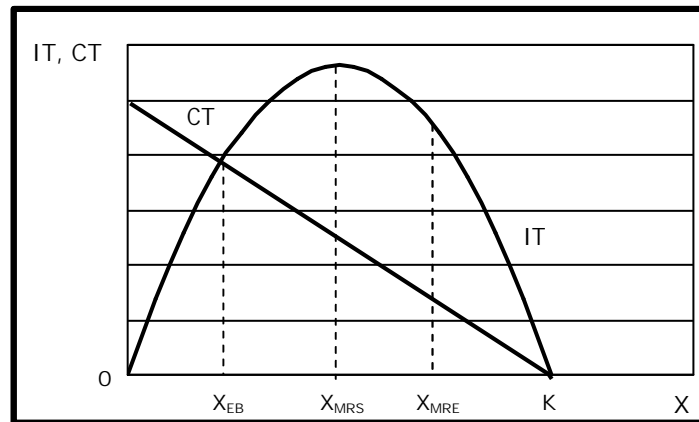
$$f_{EB} = \frac{r}{q} \left( 1 - \frac{CMeT}{p q K} \right)$$

127n

Las expresiones correspondientes a  $f_{MRE}$  y  $f_{EB}$  dependen de factores biológicos ( $r$  y  $K$ ), económicos ( $P$  y  $CMeT$ ) y de captura ( $q$ ).

Alternativamente, es posible presentar el Modelo de Gordon-Schaefer en función del stock ( $X$ ):

Figura 4: Modelo Bioeconómico Clásico Estático de Gordon-Schaefer



Fuente: elaboración propia en base a Flaaten (op. cit.).

Los valores de "X" correspondientes a los niveles clave son<sup>19</sup>:

$$X_{EB} = \frac{CMeT}{P q}; \quad X_{MRS} = \frac{K}{2}; \quad X_{MRE} = X_{MRS} + \frac{1}{2} X_{EB}$$

El Modelo de Gordon-Schaefer se basa en los siguientes supuestos: el  $P$  del recurso pesquero, el  $CMeT$  y el  $CMg$  se asumen constantes; frente a variaciones de los ingresos netos, el esfuerzo y el recurso responderán inmediatamente y no se consideran cambios en la población dependientes de las características intrínsecas al ciclo de vida -longevidad, temporalidad del ciclo reproductivo y variabilidad en el reclutamiento-.

<sup>19</sup>Es posible consultar las deducciones de estos valores en Flaaten (op. cit.).



Sus limitaciones más relevantes se encuentran asociadas a la captación de los datos requeridos para la modelización. Resulta necesario contar con fuentes estadísticas confiables, muestreos representativos de desembarques y campañas de investigación pesquera (Bertolotti et al., op. cit.). Cuestión que se ve agravada en países subdesarrollados ya que los costos de información suelen ser demasiado elevados (Seijo et al., op. cit.). Por su parte, Clark (1985)<sup>20</sup> -Seijo et al., op. cit.- señala que no es nada sencillo distinguir si el efecto de disminución de una población se debe a presiones de pesca o a procesos naturales y opina que el Modelo puede ser una herramienta útil para explicar la sobrepesca pero no para realizar sugerencias sobre el manejo.

Tal como lo indican Bertolotti et al. (op. cit.), este Modelo abrió el juego para el análisis teórico de la Economía Pesquera. Su flexibilidad permitió ampliarlo a medida que los conocimientos biológicos y económicos fueron avanzando.<sup>21</sup>

Los mismos autores agregan que si bien los modelos bioeconómicos pueden arrojar predicciones inexactas debido a la falta de información, pueden indicar tendencias e identificar áreas problemáticas, orientando investigaciones.

#### IV. Intervención pedagógica

La estrategia de enseñanza programada consta, básicamente de dos pasos: 1) explicación del Modelo de Gordon-Schaefer, acentuando su vinculación con una de las unidades del programa de la Asignatura -ecuaciones diferenciales, vía el crecimiento logístico- y con la realidad productiva local y 2) análisis matemático-estadístico y económico, por parte de los alumnos, de aplicaciones empíricas, con el soporte del software InfoStat Profesional<sup>®22</sup>. Respecto al primer paso, basta remitirse a las Secciones II y III de este Trabajo. A continuación, se desarrollará el último paso.

Conforme las siguientes investigaciones:

ÑAliaga et al. (2001) ➔ sobre la pesquería industrial de la sardina y de la anchoveta en Chile, con datos anuales de captura y de esfuerzo para el período 1980-1991 -extraídos de Caballero et al. (1992)<sup>23</sup>- e información complementaria.

ÑBarzola Alvario et al. (2013) ➔ acerca del atún tropical en Ecuador. Presenta una serie de tiempo, con estimaciones trimestrales sobre captura, esfuerzo y CPUE,

---

<sup>20</sup>Clark, C. W. (1985): "Bioeconomic Modelling of Fisheries Management", J. Wiley & Sons, New York.

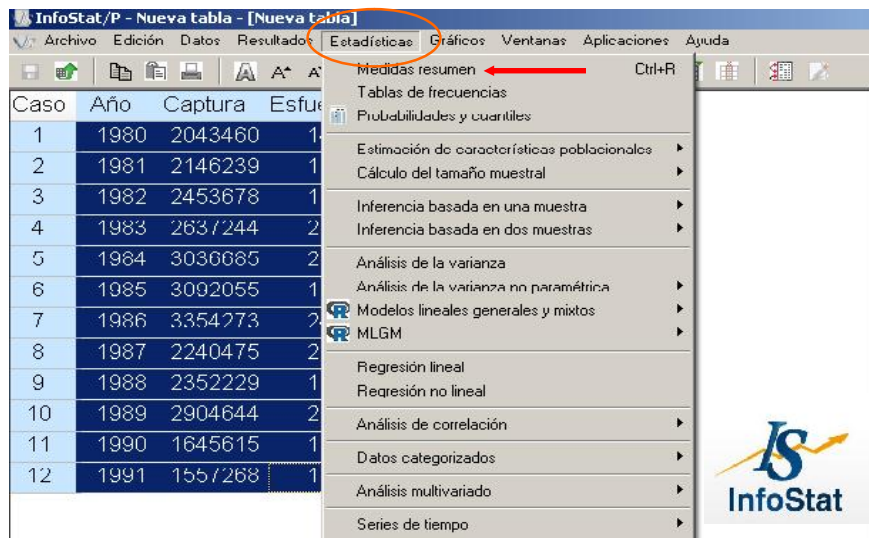
<sup>21</sup>Es posible consultar fuentes bibliográficas sobre dichas extensiones en Bertolotti et al. (op. cit.), Flaaten (op. cit.) y en Seijo et al. (op. cit.).

<sup>22</sup>Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. (2014): "InfoStat, versión 2014". Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Córdoba, República Argentina. Licencia: Beatriz Lupín.

<sup>23</sup>Caballero, L.; Santillana, L. & Rosson, G. (1992): "Investigación del esfuerzo pesquero en las pesquerías chilenas pelágicas". Instituto de Fomento Pesquero, Chile.

cubriendo el período 2001-2010 -procedente de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT)- y datos adicionales.

Los alumnos, reunidos en grupos de trabajo, deberán elaborar, fuera del ámbito aúlico, un informe que contenga una descripción estadística -medidas resumen- de los datos correspondientes y un análisis matemático y económico de los principales resultados obtenidos por los autores, utilizando el software mencionado. Dicho software fue seleccionado, por ser de fácil acceso y contar con un manual con calidad pedagógica. A modo ilustrativo, seguidamente, se expone una tabla con parte de los datos contenidos en Aliaga et al. (op. cit.):



The screenshot shows the InfoStat software interface. The main window displays a table with the following data:

Caso	Año	Captura	Esfuerzo
1	1980	2043460	1
2	1981	2146239	1
3	1982	2453678	1
4	1983	2637244	2
5	1984	3036685	2
6	1985	3092055	1
7	1986	3354273	2
8	1987	2240475	2
9	1988	2352229	1
10	1989	2904644	2
11	1990	1645615	1
12	1991	1557268	1

The 'Estadísticas' menu is open, showing the following options:

- Medidas resumen (Ctrl+R)
- Tablas de frecuencias
- Probabilidades y cuantiles
- Estimación de características poblacionales
- Cálculo del tamaño muestral
- Inferencia basada en una muestra
- Inferencia basada en dos muestras
- Análisis de la varianza
- Análisis de la varianza no paramétrica
- Modelos lineales generales y mixtos
- MLGM
- Regresión lineal
- Regresión no lineal
- Análisis de correlación
- Datos categorizados
- Análisis multivariado
- Serie de tiempo

En una próxima clase, mediante un debate conducido, los distintos grupos de estudio expondrán y discutirán las conclusiones a las que se arribaron. Dentro de este contexto, el rol del docente será el de guía, el de orientador, motivando y fomentando la participación activa y reflexiva de los alumnos.

Por último, cabe aclarar que los alumnos podrán llevar a cabo el análisis de trabajos sobre el tema en cuestión diferentes a los enunciados.

## V. Reflexiones finales

La intervención pedagógica propuesta se sustenta en una estrategia en la que los alumnos se enfrentan a situaciones específicas que deben ser comprendidas, valoradas y resueltas mediante un proceso de investigación-acción-discusión, integrando conceptos estudiados en la Asignatura.

A través de la actividad a desarrollar, se intenta acercar a los alumnos a la realidad, fomentando su participación con espíritu crítico e impulsándolos a defender sus argumentos y a contrastarlos con los de sus compañeros.

El Modelo seleccionado como eje, además de basarse en uno de los puntos programáticos, permite conectar a los alumnos con la actividad productiva de la Ciudad donde viven y cursan su Carrera y reflexionar acerca de uno de los retos de la Humanidad, el manejo de los recursos naturales y su proyección para las generaciones futuras.

## VI. Fuentes consultadas

### VI.1. Bibliografía

Aliaga R., B.; Gómez U., D. & Neira A., S. (2001): "Análisis bioeconómico de la pesquería de sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona norte de Chile". Investigaciones Marinas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso-Chile, 29(2), 15-23.

Angelini, R. & Moloney, C. L. (2007): "Fisheries, Ecology and Modelling: an historical perspective". Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 2 (2), 75-85.

Artagaveytia, D. (1987): "Captura Máxima Sostenible. Sugerencia del apoyo de técnicas de análisis económico-financiero a partir de un Modelo Bioeconómico simplificado. Se analiza el caso Uruguay". Publicación Comisión Técnica Mixta de Frente Marítimo., Vol. 2, 7-10.

<http://ctmfm.org/revistas/?i=2#10>. Consulta online: mayo 2014.

Atucha, A. J.; Errazti, E.; Lacaze, M. V.; Labrunée, M. E.; López, M. T. & Volpato, G. (2012): "La estructura productiva del Partido de General Pueyrredon". FACES, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales-Universidad Nacional de Mar del Plata, Año 18, Nº 38-39, 57-81.

Barzola Alvario, J. W.; Caicedo Amalla, J. L. & Villacrés Real, J. M. (2013): "Aplicación de un Modelo de Sostenibilidad para la Pesca y Sobreexplotación del atún tropical en el Ecuador". Tesis de grado. Facultad de Economía y Negocios-Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Ciudad de Guayaquil-Ecuador.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24505>.

Consulta online: junio 2014.

Bertolotti, M. I. (1987): "Modelos Bioeconómicos. Su aplicación en la administración de pesquerías". Publicación Comisión Técnica Mixta de Frente Marítimo., Vol. 2, 11-16.

- Bertolotti, M. I.; Verazay, G. A. & Abal, H. (1988): "Desarrollo de un Modelo Bioeconómico para el manejo integral de un recurso pesquero". *Investigación y Desarrollo Pesquero*, N° 8, 5- 9.
- Budnick, F. S. (1990): "Matemáticas aplicadas para Administración, Economía y Ciencias Sociales". 3era. ed., McGraw-Hill, México.
- Cacciutto, M. & Barbini, B. (2012): "Cultura y capital social en comunidades locales. El caso de la comunidad italiana en el barrio Puerto de Mar del Plata". *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 21(3), 681-705.
- Charles, A. T. (1988): "Fishery socioeconomics: a survey". *Land Economics*, Vol. 64, N° 3, August 1988, 276-296.
- Flaaten, O. (2010): "Fisheries economics and management". Norwegian College of Fishery Science-University of Tromsø, Tromsø-Norway.
- Gualdoni, P. & Errazti, E. (2006): "El puerto de Mar del Plata". *FACES*, Año 12, N° 26, mayo/agosto 2006, 67-83.
- González-Olivares, E. (1998): "Una clase de Modelos Bioeconómicos continuos". *Investigación Marítima*, Valparaíso 26, 109-117.
- Gordon, H. S. (1954): "The Economic Theory of a Common Property Resource: the fishery". *Journal of Political Economy*, 62, 124-142.
- Haeussler Jr., E. F.; Paul, R. S. & Wood, R. J. (2008): "Matemáticas para Administración y Economía". Pearson Prentice, 12<sup>da</sup> ed., México.
- Lupin, B. (2014): "Aplicación de ecuaciones diferenciales en la Economía Experimental". IV Seminario Docencia, Investigación y Transferencia en las Cátedras Matemática para Economistas; Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Matemática (IADCOM), Centro en Investigación en Métodos Cuantitativos aplicados a la Economía y a la Gestión (CMA), Facultad de Ciencias Económicas-Universidad de Buenos Aires, abril 2014.
- Lupin, B.; Lacaze, V. & Lupin, C. (2013): "Resolución de integrales de funciones racionales para la estimación de la disposición a pagar por alimentos de calidad diferenciada". XIII Jornadas Nacionales de Tecnología Aplicada a la Educación Matemática Universitaria; Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Matemática (IADCOM), Departamento Pedagógico de Matemática, Facultad de Ciencias Económicas-Universidad de Buenos Aires, julio 2013.
- Martínez Rodríguez, E. (2008): "Logit Model como Modelo de Elección Discreta: origen y evolución". *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, XLI (2008), 469-484.
- Mas-Colell, A.; Whinston, M. D. & Green, J. R. (1995): "Microeconomic Theory", Oxford University Press, New York.
- Pindyck, R. S. & Rubinfeld, D. L. (1998): "Microeconomía". 4ta. ed., Prentice Hall Inc., España.
- Rodríguez, L.; Misrahi, C.; Langer, M. & Ferrante, A. (1999): "Estrategias para la enseñanza de las Ciencias Económicas. Algunas propuestas". Programa de Formación Docente Continua. Secretaría Pedagógica. Facultad de Ciencias Económicas-Universidad de Buenos Aires.

Samuelson, P. (1954): "The Pure Theory of Public Expenditure". The Review of Economics and Statistics, Vol. 36, N° 4. (Nov., 1954), 387-389.

San Cristóbal Mateo, J. R. (2004): "Metodologías para el análisis del Sector Pesquero: una aplicación a Cantabria". Tesis doctoral, Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación y de la Construcción Naval-Universidad de Cantabria. <http://www.tdx.cat/handle/10803/10598>. Consulta online: mayo 2014.

Schaefer, M. B. (1954): "Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries". Bulletin Inter-American Tropical Tuna Commission, Vol. I, N° 2, 23-56.

---(1957): "Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of marine fisheries". Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 14, 669-681.

Seijo, J. C.; Defeo, O. & Salas, F. (1997): "Bioeconomía Pesquera. Teoría, modelación y manejo". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Documento Técnico de Pesca 368, Roma.

Ulloa Ibarra, J. T. & Rodríguez Carrillo, J. A. (2010): "El Modelo Logístico: una alternativa para el estudio del crecimiento poblacional de organismos". REDVET, Revista Electrónica de Veterinaria 1.695-7.504, Volumen 11, Número 03, marzo/2010.

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030310/031004.pdf>.

Consulta online: mayo 2014.

## VI.2. Sitiografía

Consejo Federal Pesquero (CFP)

<http://cfp.gob.ar>

Consulta online: junio 2014

Greenpeace

<http://www.greenpeace.org>

Consulta online: junio 2014

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC)

<http://www.indec.gov.ar>

Consulta online: mayo 2014

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)

<http://www.inidep.edu.ar>

Consulta online: junio 2014

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación

<http://www.minagri.gob.ar/site/index.php>

Consulta online: junio 2014

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)  
<http://www.fao.org>  
Consulta online: junio 2014

Puerto de Mar del Plata  
<http://www.puertomardelplata.net>  
Consulta online: junio 2014