

MODELO DINÁMICO DEL BERBERECHO (*Cerastoderma edule* L.) EN EL BANCO DE OS LOMBOS DO ULLA, EN LA RÍA DE AROUSA (GALICIA, NOROESTE DE ESPAÑA)

Ignacio S. SANTOS PIÑEIRO*

Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda. Xefatura Territorial de Pontevedra. Pontevedra, España.

* ignacio.santiago.santos.pineiro@xunta.gal

Recibido: 16-October, 2020

Aceptado: 01-Diciembre, 2020

Publicado on-line: 31-Diciembre, 2020

Cita:

Santos Piñeiro IS. 2020. Modelo dinámico del berberecho (*Cerastoderma edule* L.) en el banco de Os Lombos do Ulla, en la ría de Arousa (Galicia, noroeste de España). Mol 20: 6

Resumen

En este trabajo se aborda el diseño de un modelo de gestión para la población de berberecho asentada en el banco marisquero de tipo submareal, es decir, que no descubre durante las bajamareas, de Os Lombos do Ulla, localizado en la desembocadura del Río Ulla, en la Ría de Arousa, (Galicia, Noroeste de España). El modelo realizado se fundamenta en la metodología de Dinámica de Sistemas que desde hace más de un siglo, se viene aplicando básicamente en varios ámbitos científicos para la resolución de problemas de gestión de sistemas complejos. El modelo dinámico consta de 3 niveles que representan las distintas fases vitales de la población y de 7 flujos que surten y vacían dichos niveles. Las variables que completan este modelo son 18, incluyendo las que se refieren a la densidad, capacidad de carga del banco y al esfuerzo marisquero aplicado en la explotación. Los resultados obtenidos muestran que el banco puede ser explotado racionalmente con fines comerciales por una flota de unas 200 embarcaciones tradicionales denominadas planeadoras, produciendo unas 840 t cada año durante el período de la campaña marisquera que dura unos 120 días al año. Sin embargo es necesario tener en cuenta que los valores considerados de la mortalidad pueden variar mucho de un año a otro y también en cada fase del ciclo vital del berberecho. Con el fin de discutir y analizar posibles estrategias de gestión de esta especie, es posible realizar distintas simulaciones considerando por una parte, las variaciones en los coeficientes de mortalidad y, por otra parte, cambiando los valores en el número de mariscadores, cupo de captura máximo autorizado y duración de la campaña. El objetivo principal de la gestión de este recurso debería centrarse en el mantenimiento de su nivel de producción, del esfuerzo aplicado y en aumentar las rentas obtenidas en la actualidad, sin tratar de incrementar dicha explotación para no sobreexplotarla y que pueda llegar a desaparecer.

Abstract

This work addresses the design of the management model for the cockle population settled in the shellfish bank called Os Lombos do Ulla, located at the mouth of the Ulla River, in the Ría de Arousa (Galicia, Northwest Spain). Systems Dynamics methodology is the base of the realized model, commonly used to solve complex systems management problems in several scientific fields. The dynamic model has three levels for the different vital phases representation and seven flows that supply and drain these levels. Eighteen variables complete the model,

which include the density, the bank load capacity and the shellfish effort applied in the exploitation. Obtained results have shown that the sand banks can be rationally exploited with commercial purposes by a two hundred fleet traditional boats. This fleet can produce about eight hundred and forty tons per year during the one hundred and twenty days shellfish campaign. Nevertheless, it is necessary to bear in mind that the mortality values considered can vary widely not only from one year to another but in each cockle life cycle phase. Several simulations were performed considering different factors to discuss and analyze possible cockle management strategies. On the one hand, the mortality coefficients variation and on the other hand, changing the values of the number of shellfish men, maximum authorized catch quota and shellfishing campaign duration. The main objective of cockle population management should focus on maintaining its production level, its applied effort and the current economic income, avoiding the overexploit, which may result in the specie disappearance.

Introducción

En este trabajo se presenta un modelo dinámico de gestión del berberecho que es la especie predominante en el banco submareal denominado Os Lombos do Ulla, localizado en la desembocadura del Río Ulla, en la Ría de Arousa (Galicia, Noreste de España) de una superficie de unos 5 Km². El modelo está basado en la metodología de Dinámica de Sistemas que en la primera mitad del siglo XX estaba enfocada básicamente hacia problemas económicos y empresariales. Con el desarrollo de las máquinas industriales tuvo también aplicación en las ingenierías y, a partir de los años sesenta, se hizo presente en más ámbitos científicos (Aracil, 1995). En el ámbito de la ecología existen modelos basados en el crecimiento de poblaciones salvajes y explotadas (Martín, 2008; Morecroft, 2007; Whelan et al., 1994). En España y dentro del ámbito de la biología marina ya se ha elaborado un modelo dinámico para la explotación de la almeja fina (*Ruditapes decussatus*, L.) en el País Vasco (Borja & Bald, 2000).

Los modelos dinámicos tienen su representación gráfica en los denominados diagramas de Forrester quien los ideó y generalizó a través de numerosas obras publicadas desde el año 1974 (Martín, 2008). En el diagrama todo el sistema estudiado se expresa en función de sus componentes y de las relaciones que los unen. Los tres componentes principales del sistema Nivel, Flujo y Variable, se representan en el diagrama en forma de cuadrado, flecha y de círculo respectivamente y, las relaciones entre ellos es necesario escribirlas mediante expresiones matemáticas que pueda operar el ordenador.

En la actualidad existen varios paquetes informáticos del tipo Dynamo, Ithink, Powersim, Stella y Vensim utilizables con los ordenadores personales y que están basados en el lenguaje Addison-Wesley (Martín, 2008) pero en este trabajo, se ha representado el modelo mediante el paquete informático Stella por su carácter versátil, intuitivo y sencillo que permite construir modelos y también realizar simulaciones con ellos.

El objetivo principal que se pretende conseguir con este trabajo es realizar el modelo de gestión para la población del berberecho asentada en el banco marisquero de Os Lombos do Ulla, con el fin de estudiar su comportamiento y analizar la evolución de las capturas esperadas a lo largo del tiempo. Además mediante las simulaciones también es posible discutir y comparar posibles estrategias de gestión para este importante recurso marisquero.

Material y Métodos

El modelado de la gestión de esta especie está compuesto por una parte dedicada al crecimiento de la población y, por otra parte a la explotación comercial que realizan los mariscadores con

sus embarcaciones. Para construir el modelo se han tenido en cuenta los datos de los muestreos realizados en dicho banco relativos a la abundancia, mortalidad natural, crecimiento y esfuerzo marisquero. El horizonte temporal se configuró en 50 años con el fin de comprobar básicamente el comportamiento de los juveniles y de la población adulta a medio y largo plazo.

El Diagrama causal o de Forrester se realizó con el programa Stella (Isee, Systems inc., 2010) introduciendo los valores de las variables más representativas del sistema, tanto las variables poblacionales como las variables relativas a la explotación comercial. Una vez realizado el modelo, es posible obtener la evolución esperada de la población de Reclutas, de Adultos y de Comerciales y, también de las Capturas. Además con el fin de comparar las distintas estrategias de gestión que puedan ser utilizadas, se puede ejecutar el modelo bajo distintas condiciones de simulación, variando los valores del número de mariscadores o de la mortalidad natural.

Resultados y Discusión

El modelo consta de 3 niveles principales: población de Reclutas, Adultos y Comerciales (figura 1). La población de Reclutas está compuesta por los bereberechos más jóvenes que todavía no han alcanzado el año de edad y hemos considerado que se determina mediante la ecuación de Ricker que relaciona el Stock Reprodutor (SB) con el Reclutamiento (R) subsiguiente. Los Adultos tienen como función principal renovar la población dado que constituyen los reproductores, mientras que la población comercial se considera a la población que alcanza, con unos 18 meses de edad, una talla igual o superior a 28 milímetros. Sin embargo, es necesario considerar que en la actualidad, la talla mínima comercial está establecida reglamentariamente por debajo de 28 mm.

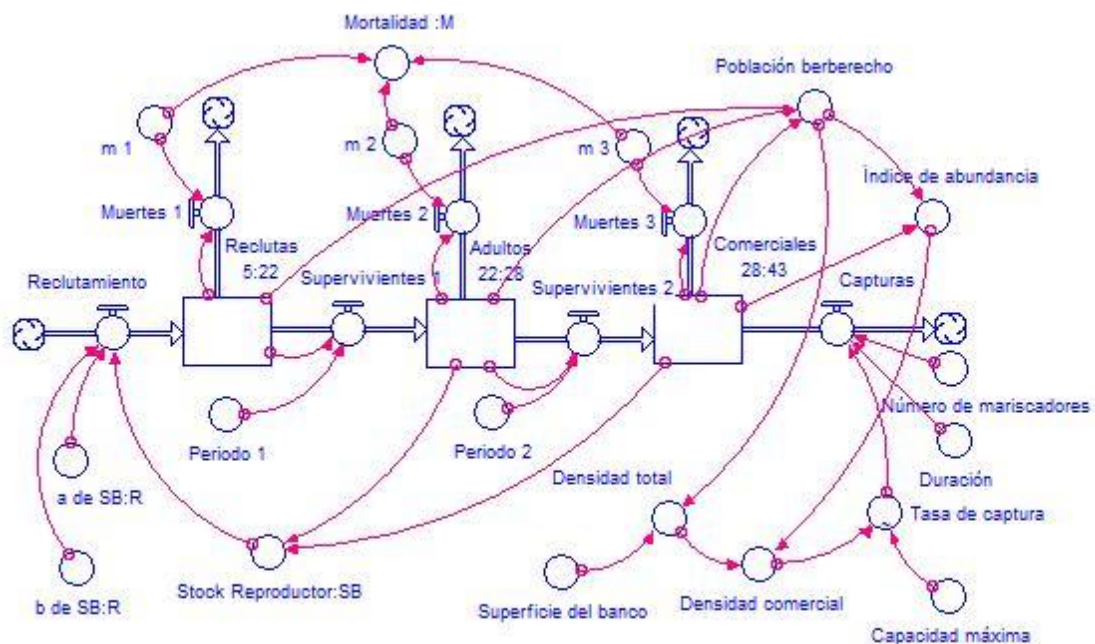


Figura 1. Diagrama causal del modelo dinámico del berberecho de Os Lombos do Ulla.

La Mortalidad natural es una variable importante ya que afecta a todas las fases del ciclo vital, siendo la causa de variación más frecuente el descenso de salinidad en los períodos de intensas lluvias. Otra causa de mortalidad natural sobre todo, en las primeras fases del ciclo vital, es la depredación que realizan las quisquillas, los cangrejos y los peces.

La renovación de la población se efectúa cada año a partir del Stock Reprodutor (SB) constituido por los Adultos de 1 año y de 2 años de edad que son los que producen el nuevo Reclutamiento anual. Cuando partimos de un determinado valor inicial de berberechos Comerciales que restan después de cada campaña marisquera y de una flota de 200 embarcaciones con unos 300 mariscadores que faenan en este banco, se obtiene el Reclutamiento anual esperado (figura 2). Esta variable poblacional muestra una oscilación muy alta, con unos valores máximos de 2 mil millones de individuos que es característico de especies pioneras y con ciclos vitales cortos, común en otros bivalvos.

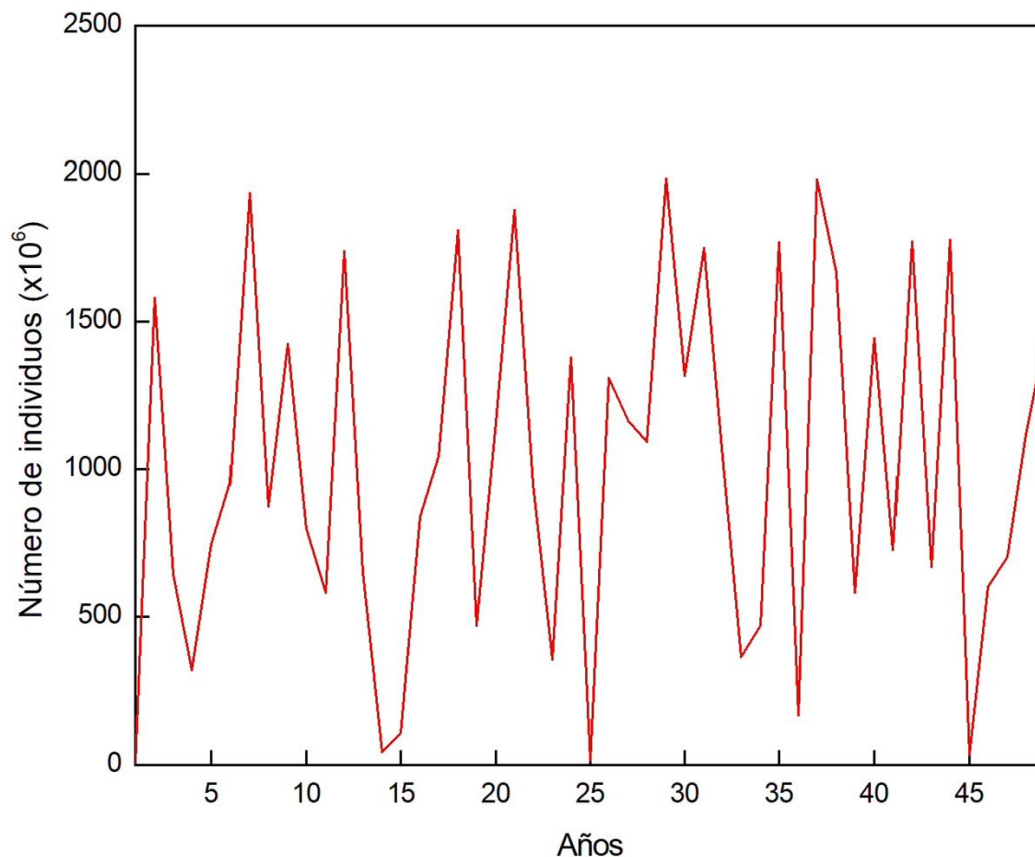


Figura 2. Evolución temporal del reclutamiento esperado del berberecho.

La relación entre el Stock Reprodutor y el Reclutamiento subsiguiente se determinó utilizando la ecuación de Ricker, obtenida a partir de los datos recogidos en los muestreos realizados desde el año 2002 hasta el año 2005, debido a que el Reclutamiento previsto se ajusta mejor al que predice la ecuación de Beverton & Holt, aunque hacen falta realizar más estudios para establecer la relación entre SB y R con mayor seguridad.

Las poblaciones de Adultos y de Comerciales dependen del Reclutamiento y en consecuencia muestran una evolución similar a lo largo del tiempo, alternando años de mayor abundancia con años de abundancia menor (figura 3). A largo plazo se puede esperar que la población de Reclutas alcance un promedio de unos 1.000×10^6 de individuos, mientras que la población de Adultos de 500 millones y la de Comerciales de 400 millones de individuos.

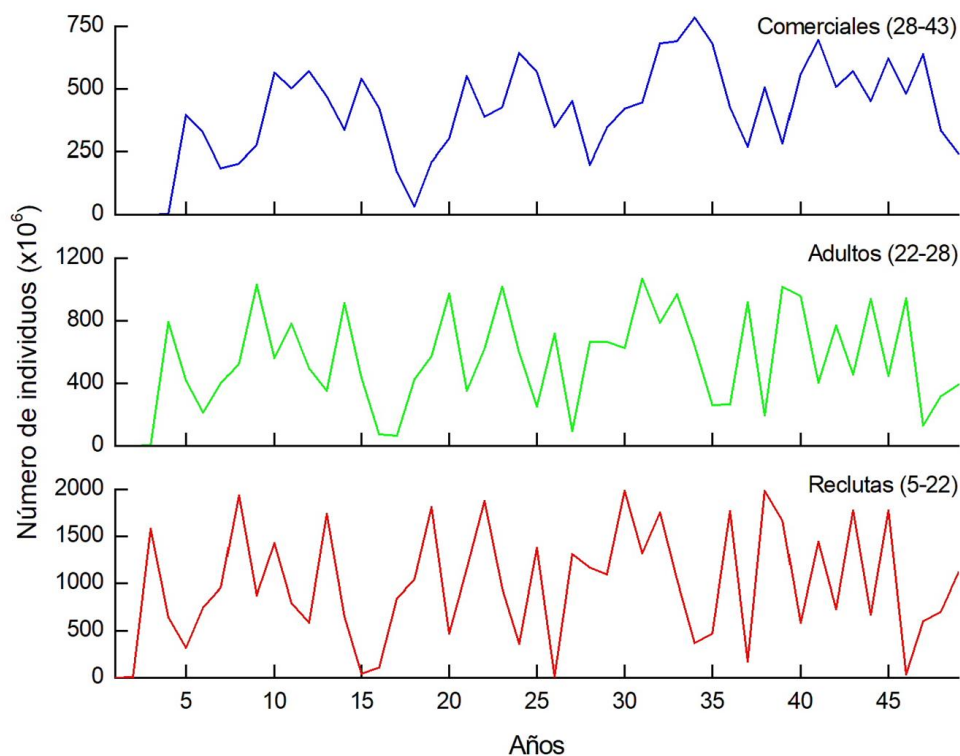


Figura 3. Evolución temporal de los reclutas, adultos y comerciales.

El flujo de Capturas lo forman los individuos Comerciales que se extraen del banco y su grado de extracción se regula mediante la tabla denominada Tasa de captura que depende de la densidad que presenta dicha población comercial. Los flujos que representan las Muertes 1, 2 y 3 corresponden a la mortalidad natural registrada para las tres fases del ciclo vital. En el Anexo final se dan las ecuaciones utilizadas y su explicación con más detalle (ver Anexo). Todas las unidades se han procurado expresar en número de individuos, aunque su conversión en peso es factible realizarla mediante la ecuación que relaciona la talla a cada edad con el peso correspondiente.

Respecto a la abundancia se detectó que el valor máximo de individuos Comerciales fue de 179 individuos/m² en el mes de septiembre de 2005, equivalente a una biomasa de 1,25 kg/m². Los valores de la máxima capacidad de carga de los bivalvos en bancos naturales en Galicia se suelen encontrar entre 100 y 297 individuos/m², similares a los valores registrados en Alemania (Strasser et al., 2001). Además en Francia se registran biomásas comerciales de 1,8- 3,1 kg/m², inferiores a 4-6 kg/m² mantenidas en los cultivos de Tailandia.

Por otra parte, las Capturas también muestran una evolución oscilante a lo largo de los años, pudiendo esperarse años difíciles de muy baja producción cuando los individuos Comerciales alcancen niveles bajos (figura 4). Durante los 120 días que dura cada campaña marisquera, las capturas tienden a permanecer constantes para mantener la sostenibilidad de la explotación y asegurar su rentabilidad económica alrededor de los 120 millones de individuos que representan un promedio de unas 840 t anuales.

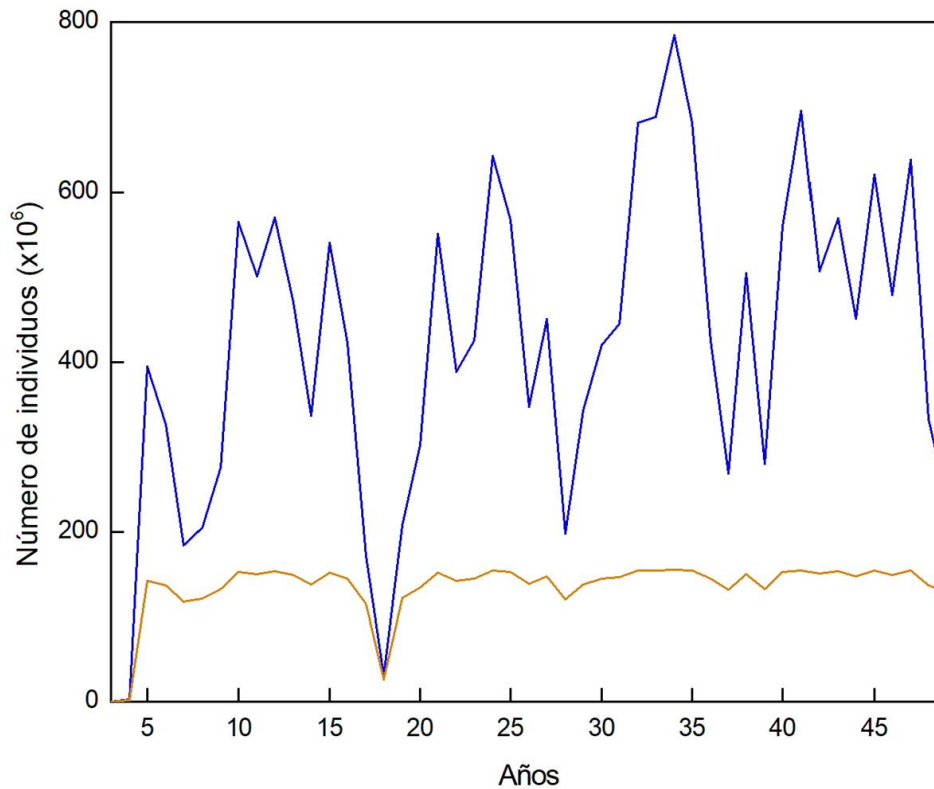


Figura 4. Evolución de las capturas esperadas de berberecho. En color azul se indica la población de los individuos comerciales y en color naranja las capturas.

El modelo realizado contempla la Tasa de captura como función de la capacidad máxima de carga por unidad de superficie de manera similar a la tasa del modelo de Morecroft, pues ambos modelos consideran que a medida que desciende la relación entre la densidad de berberechos real y la densidad potencial, la Tasa de captura desciende progresivamente, hasta llegar a detenerse las Capturas. En todo caso sería conveniente seguir investigando para añadir al presente modelo otra parte que contemple la variación del Número de mariscadores, es decir, del movimiento de la flota que faena en el banco, a través de los flujos de abandono y de incorporación correspondientes.

Los modelos dinámicos una vez verificados y validados permiten hacer distintas simulaciones cambiando los valores de las principales variables del sistema con el fin de contrastar distintas estrategias que hagan sostenible la explotación. De esta manera al ejecutar el modelo en condiciones simuladas, distintas a las condiciones de gestión establecidas, es posible comprobar que manteniendo el mismo Número de mariscadores, las Capturas realizadas en campañas cortas pueden producir distintos rendimientos que campañas más largas. Las distintas estrategias que pueden plantearse podrían servir de ayuda en la toma de decisiones sobre la forma de explotación del recurso. En todo caso, las medidas deberían estar orientadas principalmente al objetivo de mantener la estabilidad de la población y la rentabilidad económica de la explotación, de manera que se pueda seguir conservando el recurso sin llegar a su posible desaparición.

Conclusiones

La población del berberecho asentada en el banco de Os Lombos do Ulla se renueva anualmente a partir del Stock Reprodutor constituido por los individuos Adultos y, el Reclutamiento, en principio, viene determinado por la ecuación de Ricker. A lo largo del tiempo el Reclutamiento y las otras fases del ciclo vital, pueden experimentar importantes oscilaciones debidas a los descensos de salinidad y a los depredadores.

El berberecho en este banco marisquero, según el modelo realizado, puede ser objeto de una explotación racional y sostenible por una flota de 200 embarcaciones durante 120 días al año para producir unas 840 t. Sin embargo, si se aumentase drásticamente dicho nivel, podría sobreexplotarse y llegar a desaparecer el recurso.

La metodología de Dinámica de Sistemas es una herramienta adecuada para estudiar, analizar y discutir el comportamiento de la población del berberecho asentada en el banco marisquero de Os Lombos do Ulla y también la explotación que realizan los mariscadores con raños desde sus embarcaciones tradicionales.

El modelo realizado consta de 3 niveles, 7 flujos y 18 variables. Una vez verificado y validado, es posible ejecutarlo bajo distintas condiciones de simulación, cambiando los valores de las variables para contrastar diferentes estrategias de explotación del recurso. Además es posible ampliarlo con el fin de desarrollar con más detalles el comportamiento de la flota en función del beneficio conseguido por los mariscadores.

Es necesario seguir investigando en los bancos marisqueros de Galicia pues los recursos de almejas y berberechos muestran un aprovechamiento moderado y con escasos medios materiales, a pesar de que se producen unas rentas económicas importantes para el sector marisquero.

Agradecimientos

Al personal del Centro de Investigaciones Mariñas de Corón que colaboró en los muestreos del banco y a la Cofradía de Pescadores de Carril por ceder la embarcación necesaria para realizarlos.

Referencias

- Aracil J. 1995. Dinámica de sistemas. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Gráficas Marte. Madrid. 87 pp.
- Borja J, Bald J. 2000. Modelling management of clam (*Ruditapes decussatus*) exploitation in the Basque Country (Northern Spain). *Zagreb. Periodicum biologorum* 102: 395-406.
- Isee Systems, inc. 2010. The Stella software, version 9.1.4. Lebanon. USA.
- Martín J. 2000. Creación de modelos en ecología y gestión de recursos naturales. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Morecroft J. 2007. Strategic modelling and Business dynamics. John Wiley Editors. Hoboken. USA. 429 pp.
- Strasser M, Reinwald T, Reise K. 2001. Differential effects of the severe winter of 1955/96 on the intertidal bivalves *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule* and *Mya arenaria* in the Northern Wadden Sea. *Helgoland Marine Research* 55 (3): 190-197.
- Whelan JG, Oh AH, Forrester J. 1994. Building the fish banks model and renewable resource depletion. Technology Institute of Massachusetts. USA. 57 pp.

Anexo

$$\text{Adultos } 22:28(t) = \text{Adultos } 22:28(t - dt) + (\text{Supervivientes } 1 - \text{Supervivientes } 2 - \text{Muertes } 2) * dt$$

$$\text{INICIAL Adultos } 22:28 = 1000000 \text{ individuos}$$

$$\text{Supervivientes } 1 = \text{Reclutas } 5:22 * \text{Periodo } 1$$

$$\text{Periodo } 1 = 0.5$$

$$\text{Supervivientes } 2 = \text{Adultos } 22:28 * \text{Periodo } 2$$

$$\text{Periodo } 2 = 0.5$$

$$\text{Muertes } 2 = \text{Adultos } 22:28 * m_2$$

$$m_2 = 0.38$$

$$\text{Comerciales } 28:43(t) = \text{Comerciales } 28:43(t - dt) + (\text{Supervivientes } 2 - \text{Capturas} - \text{Muertes } 3) * dt$$

$$\text{INICIAL Comerciales } 28:43 = 500000 \text{ individuos}$$

$$\text{Supervivientes } 2 = \text{Adultos } 22:28 * \text{Periodo } 2$$

$$\text{Capturas} = \text{Tasa de captura} * \text{Duración} * \text{Número de mariscadores}$$

$$\text{Muertes } 3 = \text{Comerciales } 28:43 * m_3$$

$$m_3 = 0.34$$

$$\text{Reclutas } 5:22(t) = \text{Reclutas } 5:22(t - dt) + (\text{Reclutamiento} - \text{Supervivientes } 1 - \text{Muertes } 1) * dt$$

$$\text{INICIAL Reclutas } 5:22 = 2000000 \text{ individuos}$$

$$\text{Reclutamiento} = \text{RANDOM}(100000, 2000000000, a \text{ de SB:R} * \text{Stock Reprodutor:SB} * \text{EXP}(-b \text{ de SB:R}))$$

$$\text{Supervivientes } 1 = \text{Reclutas } 5:22 * \text{Periodo } 1$$

$$\text{Muertes } 1 = \text{Reclutas } 5:22 * m_1$$

$$m_1 = 0.5$$

$$\text{Población berberecho} = \text{Reclutas } 5:22 + \text{Adultos } 22:28 + \text{Comerciales } 28:43$$

$$\text{Mortalidad :M} = m_1 + m_2 + m_3$$

$$\text{Stock Reprodutor:SB} = \text{Adultos } 22:28 + \text{Comerciales } 28:43$$

$$a \text{ de SB:R} = 0.000425$$

$$b \text{ de SB:R} = 1.87e-008$$

$$\text{Superficie del banco} = 5000000 \text{ m}^2$$

$$\text{Densidad total} = \text{Población berberecho} / \text{Superficie del banco}$$

$$\text{Densidad comercial} = \text{Densidad total} * \text{Indice de abundancia}$$

Capacidad máxima = 286 individuos/m². Cada kilogramo de berberecho capturado contiene unos 143 individuos.

$$\text{Tasa de captura} = \text{GRAPH}(\text{Densidad comercial} / \text{Capacidad máxima})$$

(0.00, 0.00), (0.0833, 2860), (0.167, 3575), (0.25, 3861), (0.333, 4140), (0.417, 4269), (0.5, 4290), (0.583, 4290), (0.667, 4290), (0.75, 4290), (0.833, 4290), (0.917, 4290), (1.00, 4290), (1.08, 4290), (1.17, 4290), (1.25, 4290), (1.33, 4290), (1.42, 4290), (1.50, 4290), (1.58, 4290), (1.67, 4290), (1.75, 4290), (1.83, 4290), (1.92, 4290), (2.00, 4290).

El aumento del cupo de captura comienza desde una densidad comercial de unos 25 individuos/m² y termina cuando la densidad comercial es de unos 10 individuos/m². El cupo resultante se calcula multiplicando el número de kilogramos autorizado por el número de individuos que contiene cada kg que es de 143 individuos.

Duración = 120 días/año

Índice de abundancia = (Comerciales 28:43/Población berberecho)

Número de mariscadores = 300. Estos mariscadores faenan con raños desde unas 200 embarcaciones denominadas planeadoras.