

MODELO DEMOGRÁFICO DINÁMICO PARA EL PEJERREY *ODONTESTHES BONARIENSIS*

Lauce Rubén Freyre _ Instituto de Limnología “Dr. Raúl A. Ringuelet”. lafreyre@netverk.com.ar

RESUMEN:

Se describe un modelo demográfico dinámico para el pejerrey, *Odontesthes bonariensis*, que trata separadamente el crecimiento y la supervivencia. Fue verificado comprobándose que mostraba un comportamiento adecuado con las hipótesis planteadas. Algunos de los subsistemas fueron calibrados con datos obtenidos en la laguna Lacombe (partido de Chascomús) y en la Laguna de Monte (partido de San Miguel del Monte). Todo el modelo fue desarrollado en una planilla de cálculo en una PC estándar. El modelo considera las variables de estado de 20 cohortes separando los nacidos en los desoves de otoño y primavera. Para describir el medio se simulan la lluvia, la alternancia entre plancton e hidrófitas, los nutrientes libres, el bentos, los peces relacionados por su trófica con el plancton y aquellos relacionados con el bentos. Se presentan los diagramas de los distintos subsistemas y su comportamiento. Finalmente se muestra parte de una simulación efectuada por el modelo completo y se destacan las posibilidades de estudio estadístico para completar la calibración. El modelo se comporta en forma estable. En caso de ser validado, permitiría por un lado pronosticar acerca del futuro probable de una población y/o deducir respecto de los acontecimientos históricos recientes que afectaron el su estado actual.

PALABRAS CLAVE: pesquería; modelo; dinámica; simulación; producción.

INTRODUCCIÓN

Con la intención de contar con una herramienta para diagnosticar acerca de la productividad pesquera de una laguna se está desarrollando un modelo centrado en la población de Pejerrey. En esta contribución se realiza una presentación previa de los avances alcanzados.

MATERIAL Y MÉTODO

Debido a la extensión y a lo eterogeneo de los temas tocados, el origen de la información utilizada (material) y su modo de aprovechamiento (método) se expondrán dentro del título de cada subsistema.

EL MEDIO

Lluvia:

Se contó con el registro diario de lluvia en la ciudad de San Miguel del Monte desde el 1 de Enero de 1988 hasta el 28 de Febrero de 1991.

Se calculó la frecuencia de casos con diferente cantidad de agua caída en el período de 1155 días, con diferentes intervalos. Fue necesario llegar a un intervalo de 21 mm para obtener una serie en la que todos los intervalos estuvieran representados. A dicho conjunto de datos se ajustó una función exponencial o de recurrencia. Cuando se introdujo una función de azar y la simulación se comparó con los datos originales calculando la frecuencia con un intervalo de clases de 2 mm, resultó un ajuste con un R^2 promedio de 0,996175 y un desvío estándar de 0,0005848 como se observa en las figuras 1 y 2.

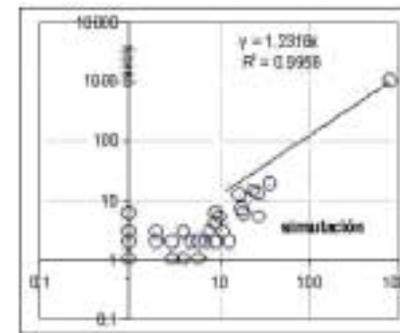
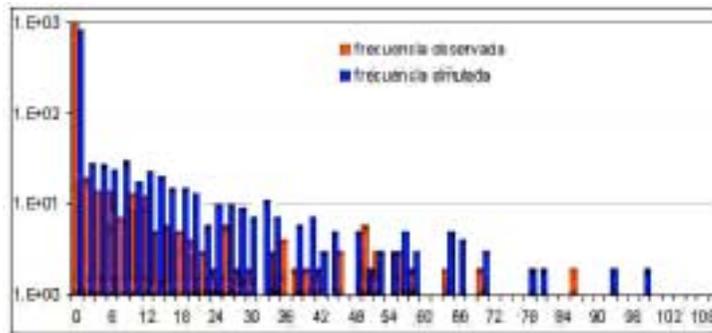


Figura 1: Histograma de frecuencia del n° de días con la cantidad de mm de lluvia caída que se indica en la abscisa.

Figura 2: Regresión y correlación entre el n° de casos observados y simulados.

A continuación se obtuvieron las lluvias medias diarias para un año y se calculó una media móvil de 11 días. A estos datos se les ajustó la exponencial de un polinomio de Furrier de orden 4 que se muestra en la figura 3.

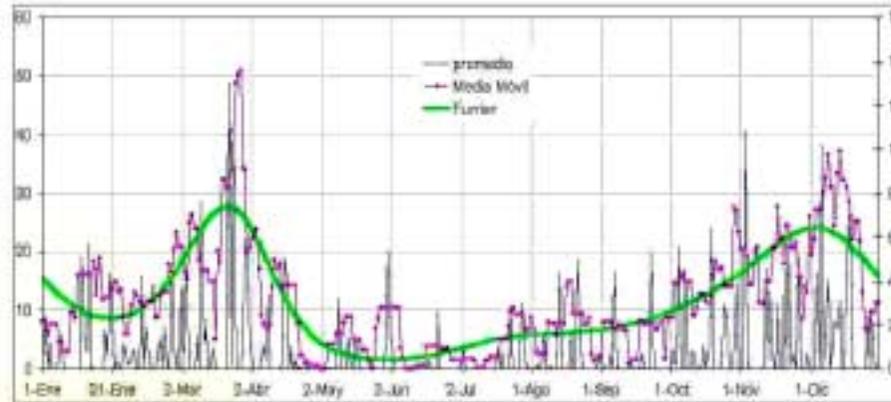


Figura3: Lluvia anual media durante el período, media móvil, y polinomio trigonométrico ajustado.

Esta función se utilizó para modular la lluvia simulada por la distribución de recurrencia. De este modo se estimaron los valores para la función forzante lluvia que se utilizó en el modelo final y se comporta como se observa en el gráfico de la figura 4.

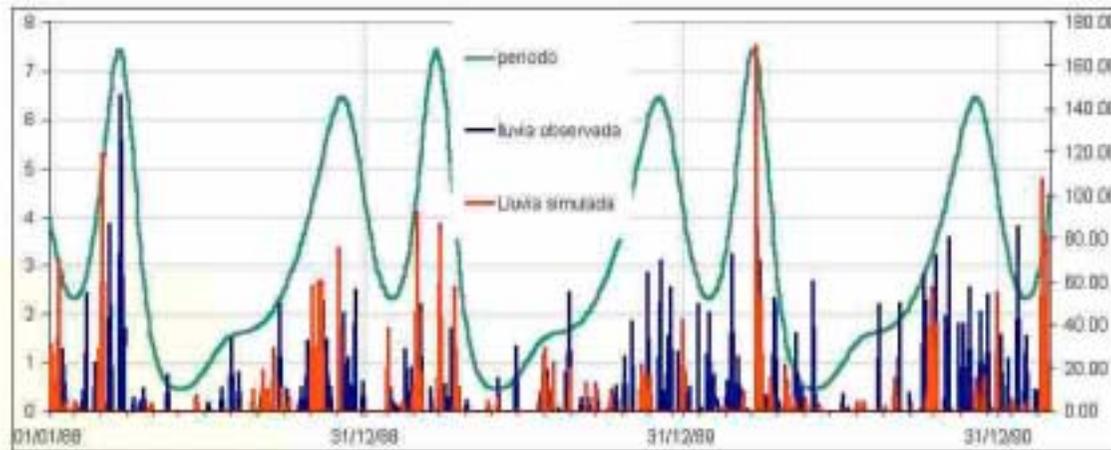


Figura 4 Simulación para el período 1/1/88 al 28/2/91 se muestra en barras rojas la lluvia simulada, en barras azules la lluvia observada, ambas respecto del eje de ordenadas de la derecha, y en línea continua verde el polinomio trigonométrico que modula la probabilidad de lluvia.

Volumen y forma de la laguna:

Se consideró que el flujo de agua que entra a la laguna debía resultar proporcional a la lluvia y al tamaño de la cuenca, mientras que el flujo de salida debía ser proporcional a la altura alcanzada por el agua. Además, que la altura en la escala hidrométrica podía describirse con un polinomio simple (de tercer orden) del volúmen acumulado (figura 5). Se calibró este submodelo con los datos observados.

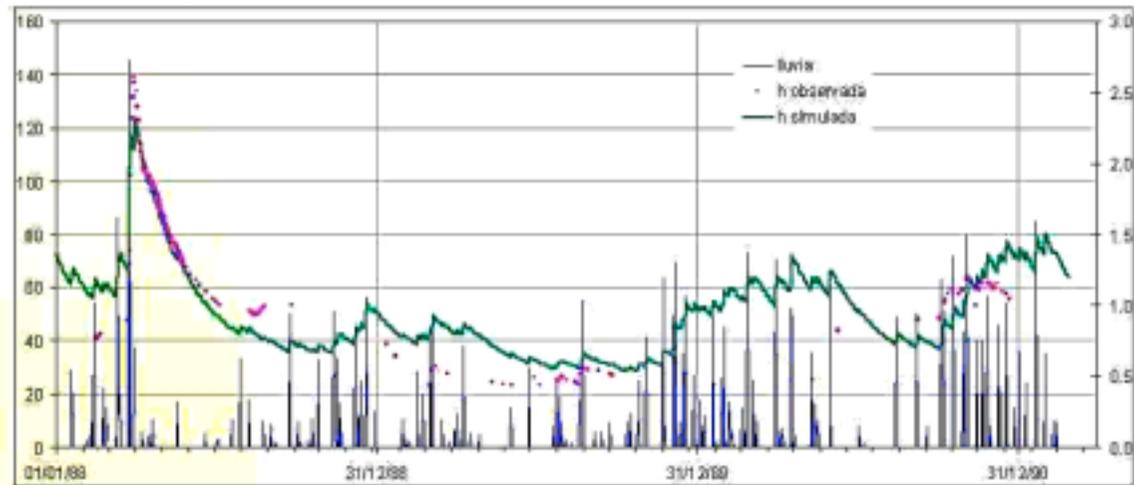


Figura 5: Lluvia observada, líneas azules en mm de lluvia diaria sobre el eje de ordenadas de la izquierda y altura observada, puntos fucsia y simulada, línea verde sobre el eje de la derecha en metros de la escala hidrométrica.

¿ENSO?

Con la intención de analizar la hipótesis de que el fenómeno del niño afecta el comportamiento de las cohortes de pejerrey se agregó una imitación de este a la función lluvia.

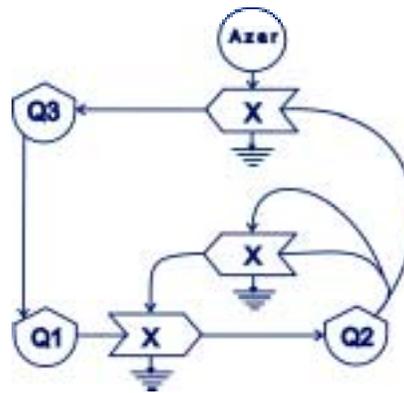


Figura 6: Se muestra en un diagrama de Odum el oscilador de tres variables con una función de azar utilizado para simular el efecto del niño sobre la probabilidad de lluvia.

Se utilizó un sensillo oscilador de tres variables de estado (figura 6) para generar pulsos de periodicidades variables que sirvieron para modificar la probabilidad de lluvia, llegando eventualmente a duplicarla como muestra la figura 7.

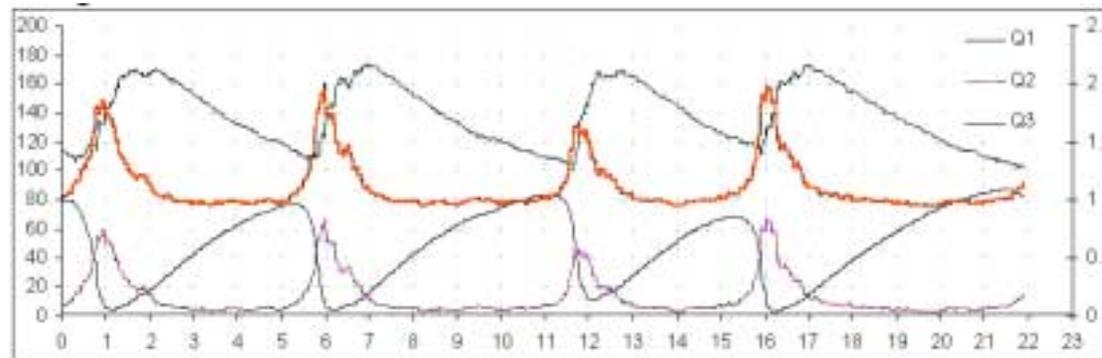


Figura 7: Se observa el comportamiento de las tres variables del oscilador (referidas al eje de la izquierda) mediante una simulación que representa 22 años y el efecto que este tiene sobre la probabilidad de lluvia en línea roja sobre el eje de la derecha.

Plancton:

Se contó con 14 recuentos del plancton efectuados en la laguna Lacombe entre el 30/5/97 hasta el 23/10/98 por el Lic. Mauricio Remes Lenicov. Estos fueron transformados a calorías cada 100 litros de agua y ponderados por el coeficiente de retención del pejerrey (Ringuelet 1980). Dichos datos fueron ordenados en función de la época del año y a los mismos se les ajustó la exponencial de un polinomio trigonométrico de Furrier, figura 8.

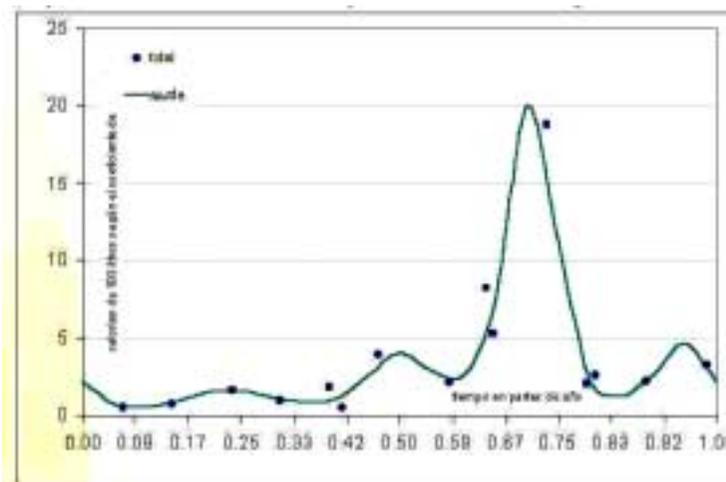


Figura 8: Calorías efectivas para el pejerrey cada 100 litros de agua según los recuentos y polinomio de furrier ajustado. La abscisa en partes de año; cada division corresponde aproximadamente a un mes.

Peces del Plancton:

De la misma laguna se consideraron peces del plancton, por su relación trófica (Destéfanis y col. 1972), a *Cnesterodon decenmaculatus*, *Cycklasoma fascetum*, *Hyphesobricon anisitsi*, *Oligosarcus jenninsii*, *Astyanax eigenmanniorum*, *Bryconamericus iheringii*, *Jenynsia lineata* y *Cheirodon interruptus*.

Resultaron considerados peces del Bentos *Gimnogeophagus australis* y *Corydoras paleatus*.

Se intentó un ajuste dinámico entre la energía aportada por el plancton y la biomasa de peces del plancton. Figura 9 Como era de esperar, dado que se agrupan especies de peces de varios niveles tróficos y distinta vida media, fue imposible que la variable Peces del Plancton se comportara con el detalle observado. Sin embargo se obtuvo el ajuste aproximado que se muestra en la figura 9.

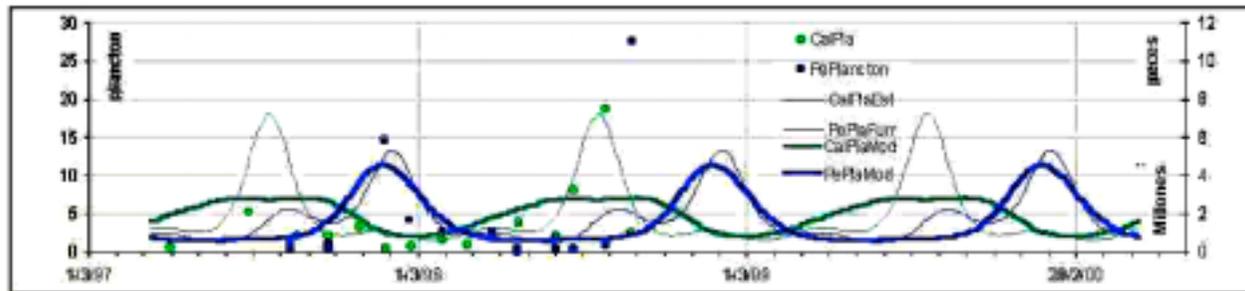


Figura 9: Calorías del plancton según los recuentos, puntos azules y biomasa observada de peces relacionados por su trófica con este, puntos verdes. Polinomios de Furrier ajustados para las calorías del plancton, líneas delgadas azules y para la biomasa de peces del plancton, líneas delgadas verdes. Simulación asumiendo una entrada constante al plancton modulada por la temperatura y el fotoperíodo, línea gruesa azul y un comportamiento logístico para los peces del plancton también afectado por la temperatura y el fotoperíodo, línea gruesa verde.

Plancton vs Hidrófitas

Se ensayó el modelo de competencia de la figura 10 para explicar la alternancia de aguas claras (hidrófitas) y oscuras (plancton).

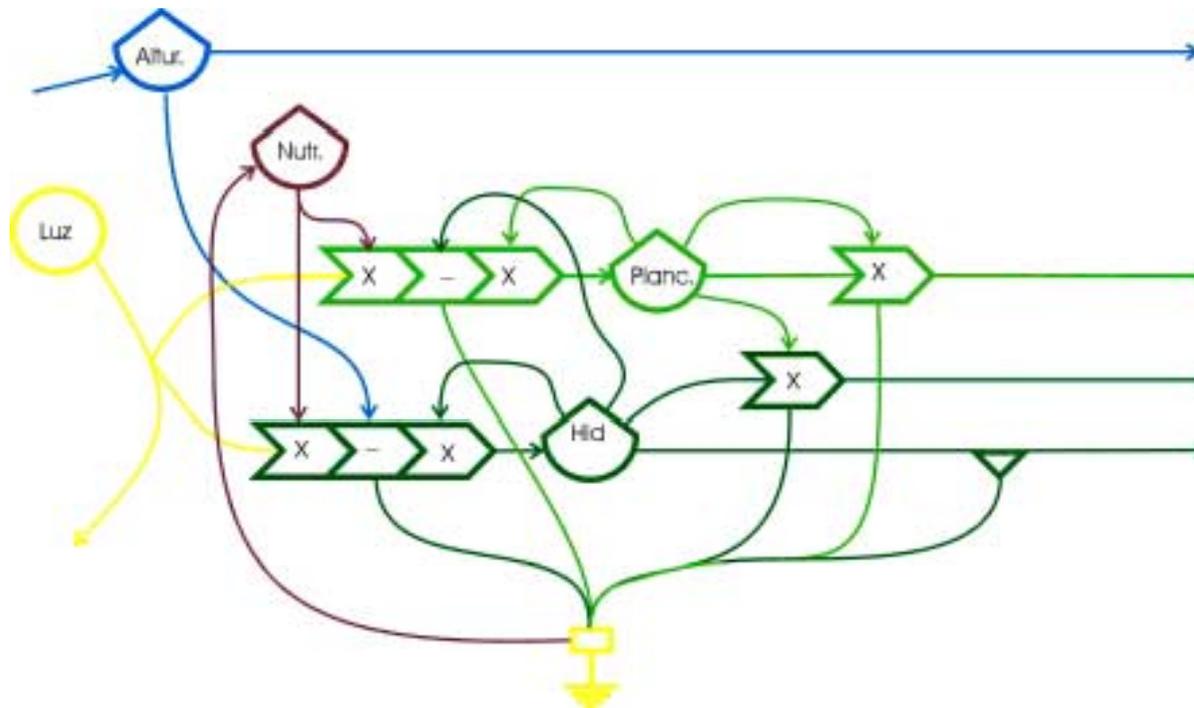


Figura 10: Diagrama de Odum para interpretar la alternancia en la dominancia del plancton y las hidrófitas. El plancton se muestra comportándose en forma logística y su producción frenada por la biomasa de hidrófitas. A su vez estas últimas serían frenadas por la altura del agua. Y ambas en relación de competencia mutua.

Se muestra una simulación donde se aprecia la alternancia obtenida para las variables hidrófitas, plancton y nutrientes, en función de la altura alcanzada por el agua. Obsérvense los exedentes de nutrientes cuando el sistema conmuta de claro (dominancia de hidrófitas) a obscuro (dominancia de plancton).

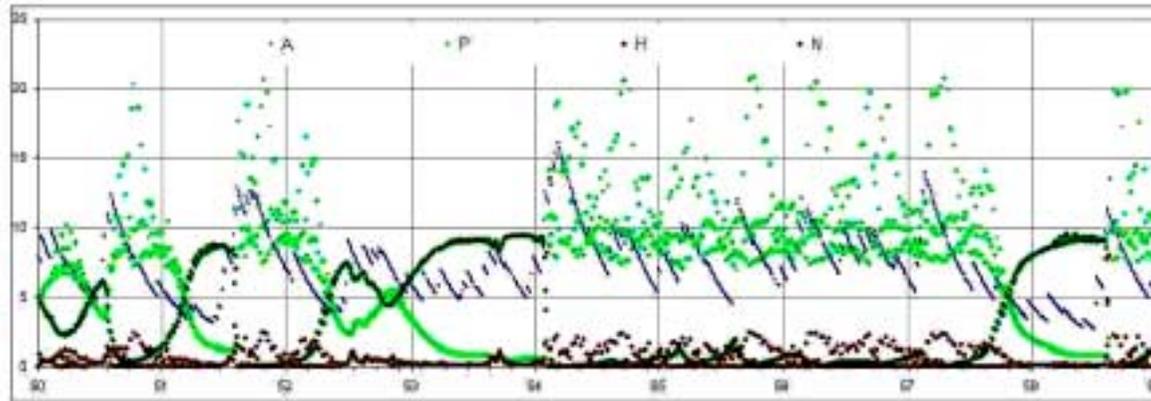


Figura 11: Simulación del modelo anterior. En azul se muestra la altura del agua generada por el submodelo ya explicado. En verde claro la biomasa del plancton, en verde oscuro la biomasa de hidrófitas y en marrón la cantidad de nutrientes libres.

El pejerrey

Respecto del pejerrey en la reunión anterior decíamos:

El contenido energético del plancton anticipa los cambios fisiológicos que experimentará el pejerrey, y aporta más en primavera que en el otoño. Esto se ilustra con los polinomios trigonométricos ajustados a las discrepancias temporales de los pesos observados respecto de los ajustados por los respectivos modelos alométricos (figura 12).

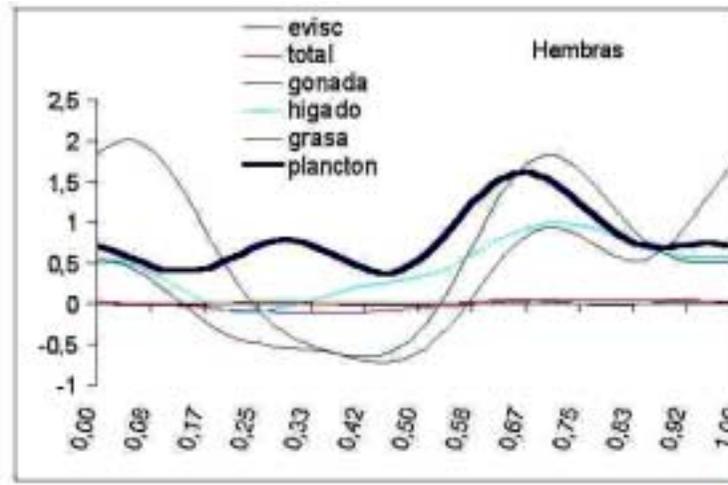


Figura 12: Variación estacional de los índices gravimétricos de los compartimentos que se detallan en ajustes de Fourier en línea fina y de la energía contenida en el plancton de 100 litros de agua, en línea gruesa.

El modelo de crecimiento individual

Con esta información pudo desarrollarse el modelo para el crecimiento individual del pejerrey (figura 13) donde se observa que tanto las estructuras neuro-músculo-esqueléticas (Q2) como la energía hepática (Q3) son indispensables para aprovechar la oferta (X), por otro lado la intervención del hígado es necesaria para metabolizar las reservas (Q4) y convertirlas en biomasa del ovario (Q5) que además puede recibir el aporte directo de energía desde el hígado (J8) y finalmente esta se libera en el desove (J5).

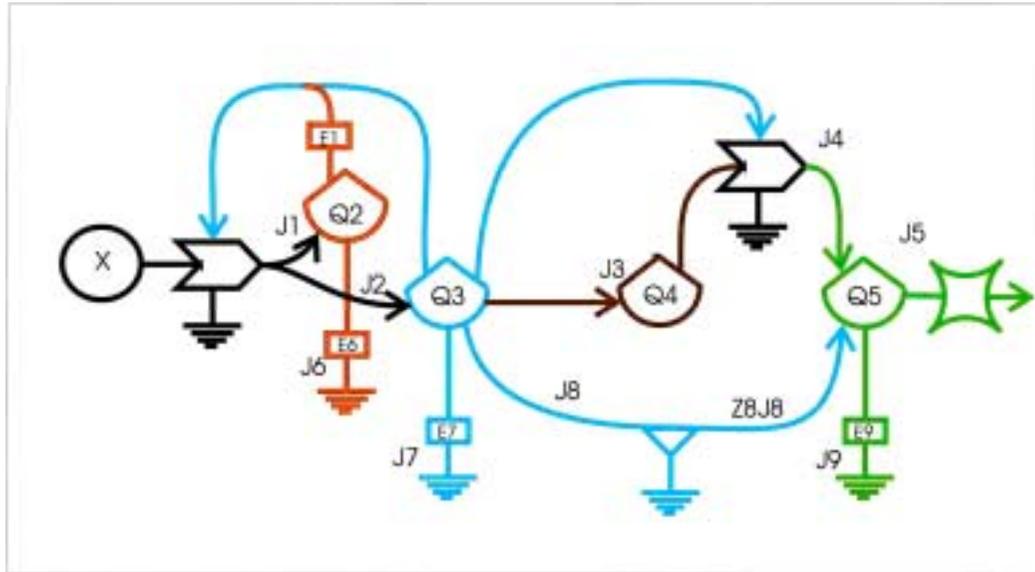


Figura 13: Modelo de crecimiento individual donde Q2 es peso somático, Q3 es peso del hígado, Q4 es peso de grasa y Q5 es peso de la gónada

De modo que se pudo reconstruir la historia del crecimiento de un individuo y tener datos para calibrar este modelo dinámico. Se ajustó una curva de crecimiento en longitud (Lst) estacionalizada (Pauly 1984). Mediante los polinomios mencionados se obtuvieron las estimaciones del peso eviscerado, del peso del hígado, del peso de la grasa y del peso de las gónadas. Además se pudieron estimar los períodos en que el interruptor del desove está abierto o cerrado según que la derivada del ovario fuese positiva o negativa.

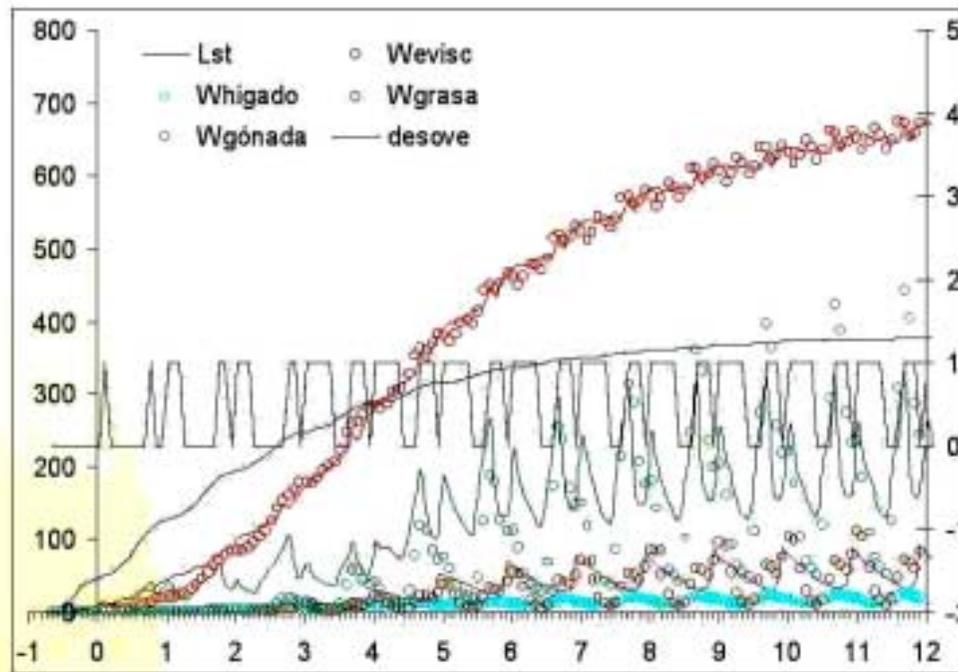


Figura 14: Curva de crecimiento en longitud (Lst) línea azul. Peso eviscerado, círculos rojos, peso del hígado, círculos celestes, peso de la grasa, círculos marrones y peso de las gónadas, círculos verdes, además con líneas continuas del color correspondiente se muestran los valores simulados por el modelo. Todos referidos a la ordenada izquierda. La línea negra quebrada representa los períodos en que el interruptor está abierto (1, desove) o cerrado (0), referido a la ordenada derecha.

Modelo de supervivencia

Los pejerreyes juveniles sufren una mortalidad tan alta que por cada recluta que se incorpora a la población, las hembras deben liberar alrededor de 600 huevos. El sencillo modelo que se propone en Freyre y col. 2003 incorpora la variable de estado S (suceptibilidad), que agrega mortalidad adicional hasta que es disipada por el tiempo figuras 15 y 16.

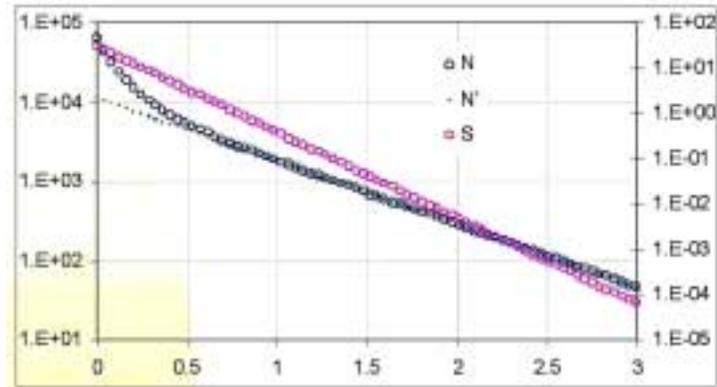


Figura 15: Simulación del modelo de supervivencia donde N = número de individuos, N' = número estimado por el modelo clásico, ambos referidos a la escala logarítmica izquierda, S = susceptibilidad, escala logarítmica derecha. Abscisa en años.

En la gráfica se observa como la susceptibilidad (S) disminuye hasta ajustar la supervivencia (N) a la curva exponencial negativa del modelo tradicional (N')

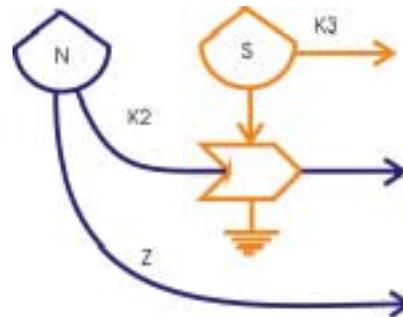


Figura 16: El número de individuos (N) disminuye en proporción al producto de N y de la susceptibilidad (S), a su vez esta disminuye a

la tasa constante K_3 , mientras que aún cuando S haya disminuido hasta agotarse N sigue decreciendo a la tasa constante Z

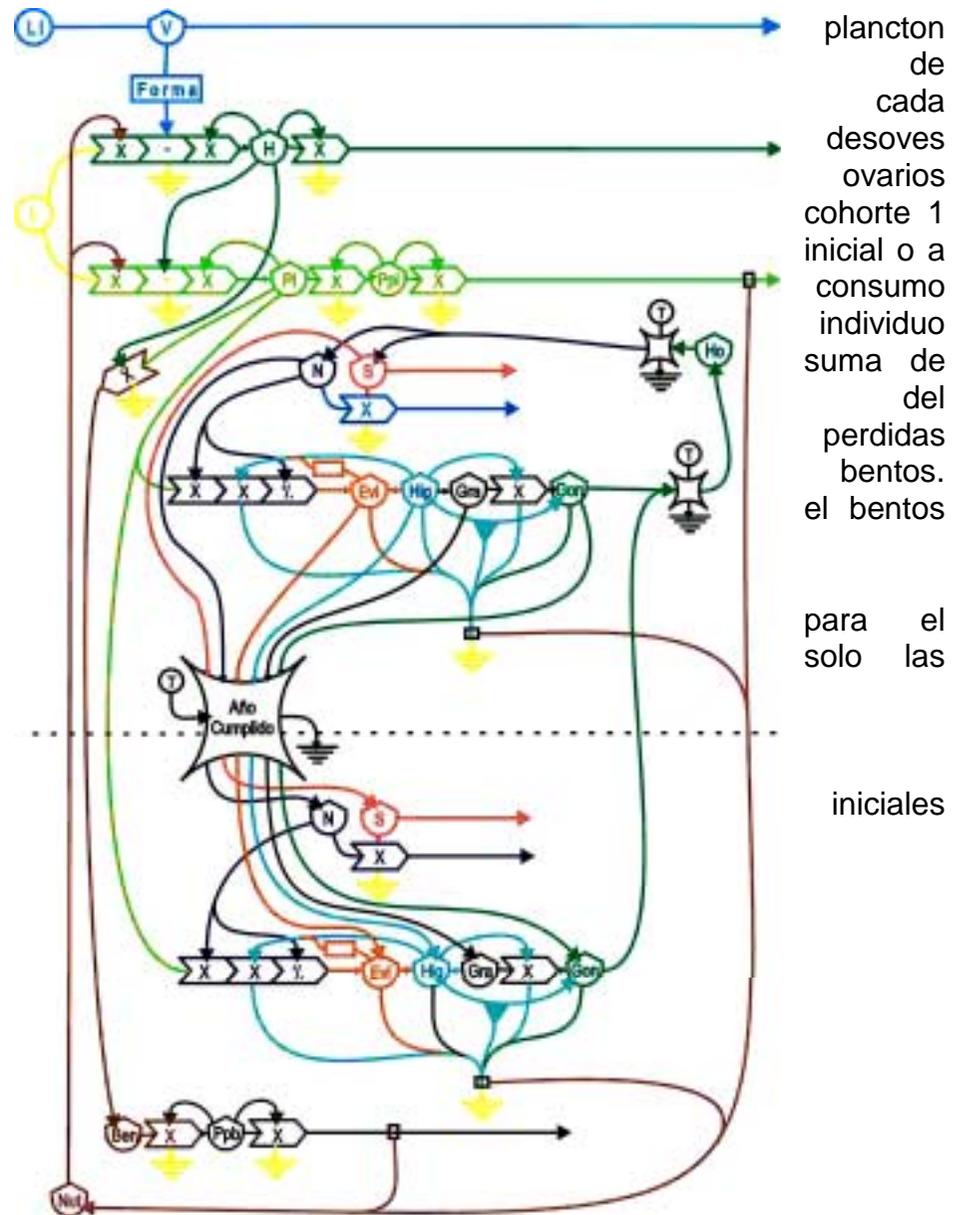
El modelo en su estado actual

Se combinaron los submodelos descriptos: lluvia; forma; vs hidrófitas; peces del bentos y plancton, figura 17. El modelo supervivencia se combinó con el de crecimiento para describir cohorte. Se representan 22 cohortes correspondientes a los de primavera y otoño de 11 años sucesivos. La biomasa de los se transforman en número de huevos que se incorporan a la de primavera en el correspondiente desove con su biomasa la cohorte 1 de otoño en este desove. En cada caso el de plancton es proporcional a la oferta y a la biomasa del promedio de la cohorte, multiplicada por N de la cohorte. La los consumos de todas las cohortes se sustrae de la biomasa plancton así como el consumo de los peces del plancton y las por muerte natural que sedimentan por lo que se incorporan al Se estiman la biomasa del plancton, de los peces del plancton, y los peces del bentos, así como los nutrientes libres.

Figura 17: Diagrama de Odum modelo. Se han representado cohortes 1 y 11

El modelo funcionando

Una vez al año se transfieren los estados finales como estados de la cohorte siguiente y se incorporan los valores de reproducción a la más joven.



En una planilla de cálculo, mediante fórmulas y macros, se simuló el modelo integrando por el método de Euler (Odum 1981, Patten 1975-76 ... etc).

Durante la simulación se observa una ventana de monitoreo (figura 18) que muestra el comportamiento de las principales variables en forma gráfica, en el año que se está simulando.

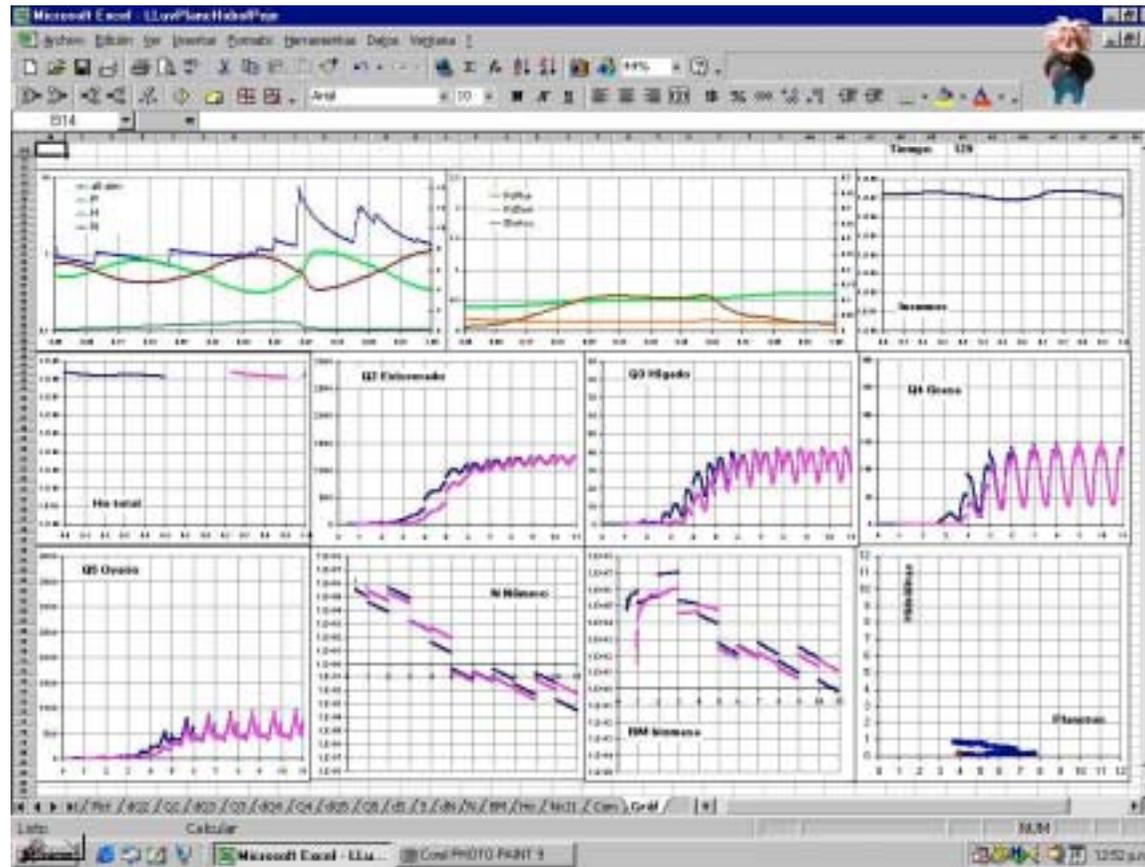


Figura 18: Ventana de monitoreo. En la gráfica superior izquierda la altura está representada en escala logarítmica mientras que el plancton (P), las hidrófitas (H) y los nutrientes libres (N) lo están en escala

natural. En la gráfica central de la fila superior se muestra la variación de los peces de plancton y el bentos, además de la biomasa del resto de organismos bentónicos. En la ventana superior derecha el insumo de plancton por la población de pejerrey. En la segunda fila, a la izquierda se muestra la biomasa de los ovarios. Todas esas gráficas tienen como abscisa el tiempo del año corriente. Las siguientes tres ventanas de la segunda línea y las tres izquierdas de la tercera tienen como abscisa la edad de las cohortes. La ventana inferior derecha es un diagrama de fases donde se observa la evolución del sistema Plancton vs Hidrófitas en el año corriente.

Simultáneamente se genera un archivo mensual de dichas variables y su gráfica, que muestra la evolución del sistema desde el inicio de la simulación, figura 19. Las variables del crecimiento individual y la supervivencia se han sintetizado en biomasa total del pejerrey (BM), número total de individuos (N) y peso promedio de un individuo (PesMed).

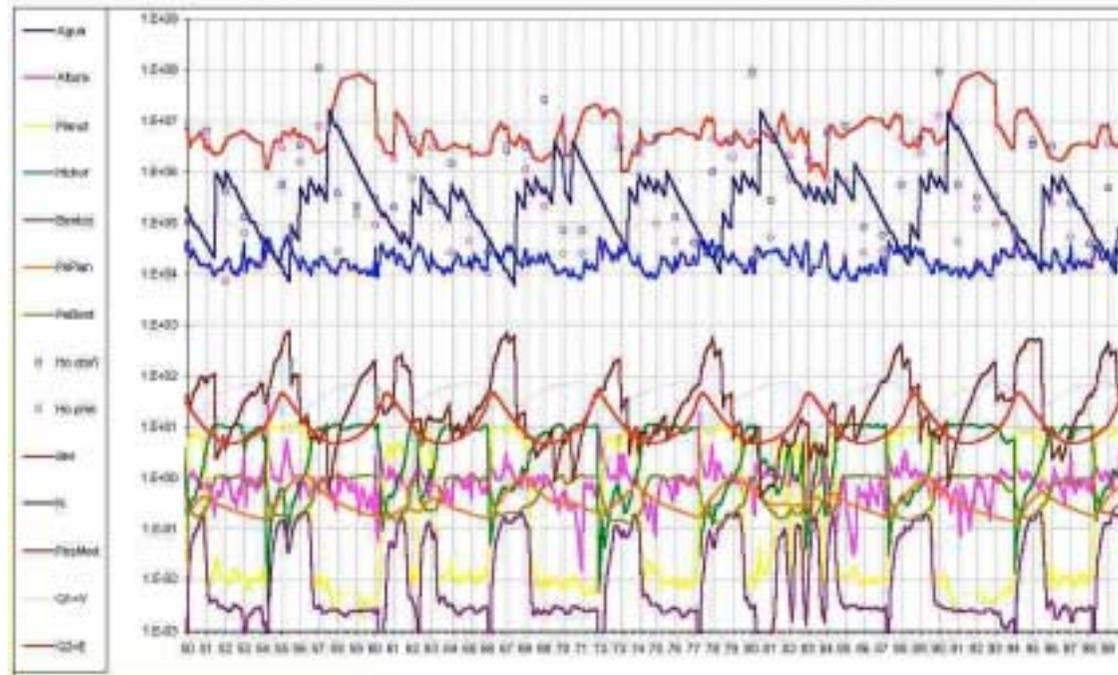


Figura 19: Comportamiento del modelo en una simulación de 50 años. La escala de ordenadas es logarítmica, la de abscisas está en años.

A partir del archivo generado se pueden efectuar distintas manipulaciones, como por ejemplo permite el estudio estadístico de las variables simuladas. A modo de ejemplo se muestra en la figura 20 una matriz gráfica de regresiones entre todas las variables.

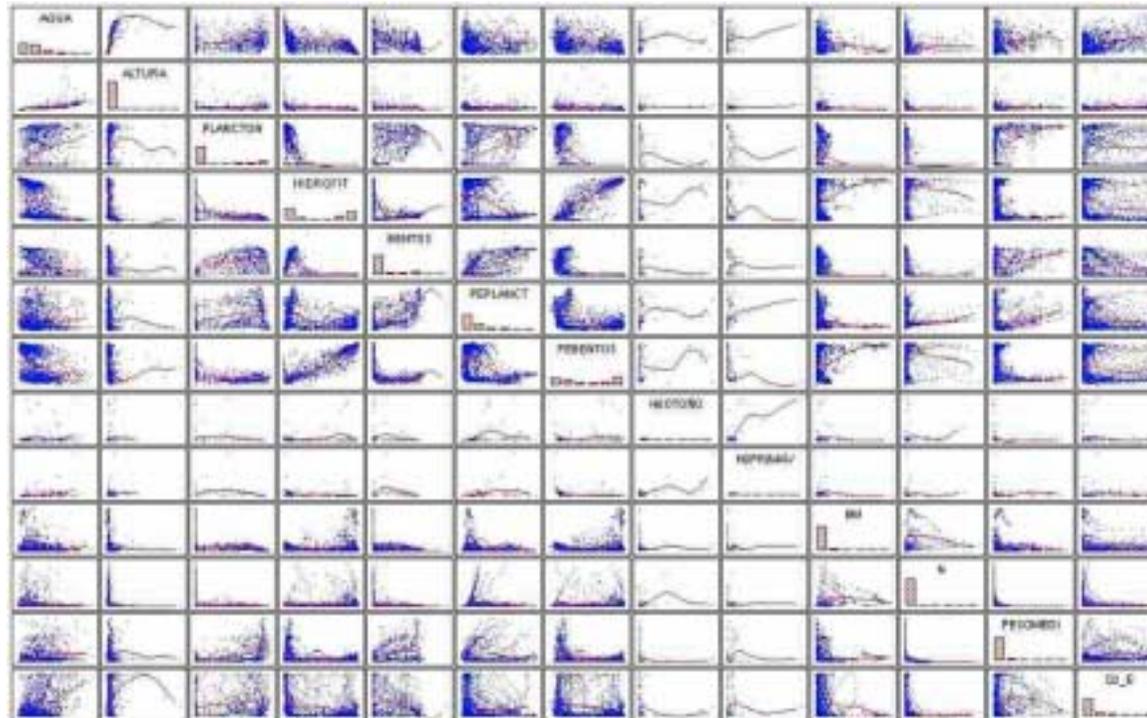


Figura 20: Matriz de regresiones de las variables del modelo en una simulación de 100 años.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

-El comportamiento se ajusta a lo esperado, el modelo está verificado.

-Algunos parámetros requieren aún calibración, para lo cual se necesitan nuevos datos. Por ejemplo hace falta obtener una serie de datos de lluvias diarias locales de varios años.-La información referida al pejerrey parece suficiente. ¿Se podrán obtener datos históricos que describan adecuadamente las variaciones multianuales de las poblaciones de pejerrey?
-Igualmente ¿se podrá conseguir información acerca de los cambios estructurales de las comunidades de peces en períodos suficientemente largos?
-¿Existen registros, aunque no sean formales, de las dominancias de hidrófitas y simultáneamente, de las alturas excepcionales del agua?

BIBLIOGRAFÍA:

- Bernard C. Patten. editor 1975-6, SYSTEMS ANALYSIS AND SIMULATION IN ECOLOGY. Academic Press New York, Tres Tomos.
- Destéfani, S.; Freyre, L. R. 1972, Relaciones tróficas de los peces de la laguna de Chascomús con un intento de referenciación ecológica y tratamiento bioestadístico del espectro trófico. Acta Zool. Lilloana 29:17-33
- Freyre, L. R., M.E. Maroñas y E. D. Sendra. 2003, Modelo de supervivencia para los estadios poslarvales del pejerrey *Odontesthes bonariensis*. En esta página Web.
- Howard T. Odum. 1983, SYSTEMS ECOLOGY: AN INTRODUCTION. John Wiley & Sons. New York, 644 pp.
- Jørgensen Sven Eric. 1994. FUNDAMENTALS OF ECOLOGICAL MODELLING. (2da edición). Elsevier. Amsterdam, 628 pp.
- Pauly, D., 1981, Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. ICLARM Stud.Rev., (8):325 p.
- Ramon Margalef. 1991, TEORÍA DE LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS. Universitat de Barcelona, Barcelona, 290 pp.
- Ringuelet, R. A.; Iriart, N. R.; Escalante, A., H. 1980, Alimentación del pejerrey (*Basilichthys bonariensis bonariensis*, Atherinidae) en laguna Chascomús (Bs. As., Arg.) Relaciones ecológicas de complementación y eficiencia trófica del plancton. Limnobiología 1(10):447-460