

# UNA APROXIMACIÓN DEL ENFOQUE DE LA COMPLEJIDAD AL ESTUDIO DE LAS PESQUERÍAS.

Juan Páez Costa.

Calle Prado No. 20 apto. 3A, Habana Vieja, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: [jpcmmo@yahoo.es](mailto:jpcmmo@yahoo.es)

## RESUMEN

Se discute la necesidad de incorporar al estudio de las ciencias marinas los conceptos de la Teoría (Enfoque) de la Complejidad, pues a criterio del autor aportan novedosos e importantes puntos de vista para comprender mejor los procesos de los sistemas naturales complejos, típicos de la dinámica de la naturaleza y también de las sociedades humanas y permiten acercarse a una modelación más real *del estar siendo* de estos sistemas.

Palabras claves: Complejidad, pesquerías, sobreexplotación, emergencias, ecosistemas.

## ABSTRACT

The need to incorporate the study of Complexity Theory to marine sciences is argued. The author considers this is an important and new viewpoint for a better comprehension of the processes of natural complex systems, which are typical in nature's dynamics but also in human societies. Complexity Theory makes possible a closer approximation to more realistic models in these *ever-changing* systems.

Key words: Complexity, fisheries, overexploitations, emergencies, ecosystems.

*“...reconocer el despliegue creativo de vida en formas de creciente diversidad y complejidad, como una característica inherente a todos los sistemas vivos. Si bien mutación y selección natural siguen siendo consideradas aspectos importantes de la evolución biológica, la atención se centra en la creatividad, en el constante avance de lo vivo hacia la novedad”* (Capra, 1999)

Aun cuando la mayoría de los investigadores de poblaciones marinas reconocen la necesidad del estudio multidisciplinario, en la práctica, la integración de los resultados de diferentes especialidades en los modelos de análisis de la evolución histórica de la pesquería y en los de pronósticos es escasa, y aún en esos casos el número de las variables que intervienen como componentes principales del proceso natural, y la representación de su propia variabilidad, son insuficientes en los análisis realizados.

La tendencia de diversos investigadores es a reducir grandemente los procesos que ocurren en la naturaleza o a verla en partes independientes y, en muchos casos a considerar al todo como la suma de esas partes, y no como redes en donde sus componentes están en interacción dinámica, con un enfoque transdisciplinario, lo que está

considerado en el enfoque sistémico complejo tratado por Capra (1996).

Es frecuente encontrar en la literatura (García y Le Restre; 1986; Caddy y Sharp, 1988) el reconocimiento de que las relaciones (modelos) encontradas entre determinadas variables; por ejemplo la captura por unidad de esfuerzo (cpue) y la lluvia o la temperatura, sólo se cumplen en el período que recorren los datos, pero que no tienen carácter predictivo o éste es muy limitado.

Por otra parte, la condición de equilibrio dada en la modelación de estos sistemas durante la mayor parte del siglo XX (Shaefer, 1954, 1957; Beverton y Holt, 1957; Pauly, 1984; Sparre y Venema, 1995) simplifica el comportamiento verdaderamente complejo de los sistemas naturales alejados del equilibrio. Afortunadamente, en los últimos lustros se ha ido imponiendo el análisis bajo condiciones de no-equilibrio (Hilborn y Walters, 1992; Seijo, *et. al.*, 1997).

No obstante, muchas de las ecuaciones que se emplean para la estimación de los diferentes parámetros, o en los modelos de evaluación son analíticas y reducen estos sistemas naturales a sistemas lineales, por ejemplo la *linearización* de la distribución normal para la estimación de los

parámetros de crecimiento, la estimación de la mortalidad total a partir de la curva de captura *linearizada*, la relación *lineal* entre la biomasa y el esfuerzo pesquero (como se asume en el modelo de Shaefer, 1954, 1957). El propio concepto de cohorte en los modelos analíticos o estructurados por edades, que consideran que todos los peces de un período han nacido en una misma fecha eliminando las variaciones individuales de los ejemplares. Todos ellos son ejemplos del enfoque heredado que aún prevalece en los trabajos científicos bajo la influencia del pensamiento modernista y la ciencia clásica y que conforman el carácter determinista lineal y reduccionista de estos modelos de evaluación de poblaciones.

El carácter no-lineal es lo representativo de los sistemas naturales, lo lineal es lo excepcional en la naturaleza.

No obstante, algunos investigadores reconocen el costo que se asume, en términos de representación no realista, al considerar algunas variables como lineales, pero son parte de las constricciones en que se encuentran actualmente ante una clase especial de problemas de optimización dinámica (Clark, 1985). La ciencia pesquera ha avanzado notablemente al comenzar a incorporar la teoría de las probabilidades y los criterios de riesgo e incertidumbre para el manejo de las pesquerías (Dupont, 1993; Clark, *et al.*, 1995; Pérez, y Defeo, 1996; Seijo *et al.*, 1997). Sin embargo, las condiciones *complejas* de la evolución de estos sistemas es insuficientemente considerada por muchos autores; no sólo por los límites en el conocimiento científico actual de las interacciones entre los componentes del sistema objeto de estudio y de éste con su entorno, sino por no tomar en cuenta el carácter sólo parcialmente predecible de estos procesos, lo que es inherente a estos sistemas heterogéneos.

Hay que destacar que las *condiciones iniciales* juegan un papel decisivo en los resultados del comportamiento de un sistema, es la conocida metáfora del *efecto mariposa*. Se ha demostrado que pequeñas variaciones de las mismas, pueden llevar al sistema por trayectorias futuras bien diferentes.

Las *perturbaciones* sobre ese sistema o población de la especie estudiada, es decir las variaciones ocurridas por causas externas al sistema, como por ejemplo: pesca, contaminación, cambios en las corrientes marinas, variaciones en; la comunidad

de organismos a la que pertenecen, en el volumen del escurrimiento terrestre o en la cantidad y calidad del alimento o, las variaciones de carácter interno, conocidas como *fluctuaciones*, tales como: variaciones genéticas, en la tasa de crecimiento y mortalidad natural, alteración de las relaciones intraespecífica, entre otras, o ambas, en dependencia de cómo afecten al sistema; lo pueden alterar ligeramente, regresando al estado original por el carácter homeostático de los sistemas biológicos, o por el contrario, lo alejan de la “estabilidad” u orden inicial próximos al equilibrio hacia un estado muy distante a éste, y cuya trayectoria de desarrollo ulterior puede resultar bien diferente a la esperada (deseada). En este último caso, se dice que entre las propiedades más importantes del sistema se encuentran las de disponer de un incremento de su inestabilidad y de su correlacionalidad, es decir, la disposición de un grado óptimo de: nexos dinámicos entre sus componentes, de capacidad de procesamiento de la información y una óptima capacidad de variaciones entre diferentes opciones de desarrollo.

Cuando el sistema se encuentra bajo estas *condiciones fronterizas* se dice que está en un *punto de bifurcación* (quizá un término más preciso podría ser el de *punto de multifurcación*, porque la nueva trayectoria que tomará el sistema es variada e imprevisible en una multiplicidad de alternativas posibles) o, en un régimen dinámico en el borde o límite de la inestabilidad (caos determinístico), donde cualquier perturbación o fluctuación, aunque pequeña, puede hacerlo “estallar” como sistema, a menos que *disipe esa energía* a través de un nuevo estado u orden; a lo que Prigogine (1989) llamó *estructuras disipativas*. Por tanto, tiene la necesidad de reorganizarse para *seguir siendo*, aunque en un nuevo todo orgánico dinámico que lo llevará, más adelante, a seguir cambiando en un proceso de evolución permanente.

Los sistemas dinámicos complejos, como los sistemas naturales, se mueven inevitablemente de la tendencia al caos, a la tendencia al equilibrio, y de éste nuevamente al caos, emergiendo cada vez un nuevo orden dinámico en el sistema anidado (embebido) entre el entorno y los componentes de ese sistema.

La característica de ser parcialmente predecible es una de las razones por las que a veces no nos explicamos por qué las evaluaciones pesqueras “fallan”, ya que se pretende de las simulaciones,

pronósticos como verdades ineludibles. Los propios investigadores y los tomadores de decisiones deben también tomar conciencia de ello e incorporarlo en el grado de incertidumbre que presentan estos análisis.

En estudios recientes, desarrollados para el análisis bioeconómico de las poblaciones explotadas, se han establecido modelos dinámicos que describen el comportamiento de una pesquería bajo condiciones de libre acceso y toman en cuenta factores biológicos, ecológicos y económicos. Seijo *et al.* (1997) reconocen el carácter a veces sin posibilidad de pronóstico del medio ambiente.

No obstante, los análisis actuales aún consideran que la dinámica del proceso lleva al equilibrio bioeconómico en un sentido determinista. Representemos la evolución de esta dinámica en un eje de coordenadas cartesianas relacionando las variaciones de la captura contra el esfuerzo pesquero (Fig. 1).

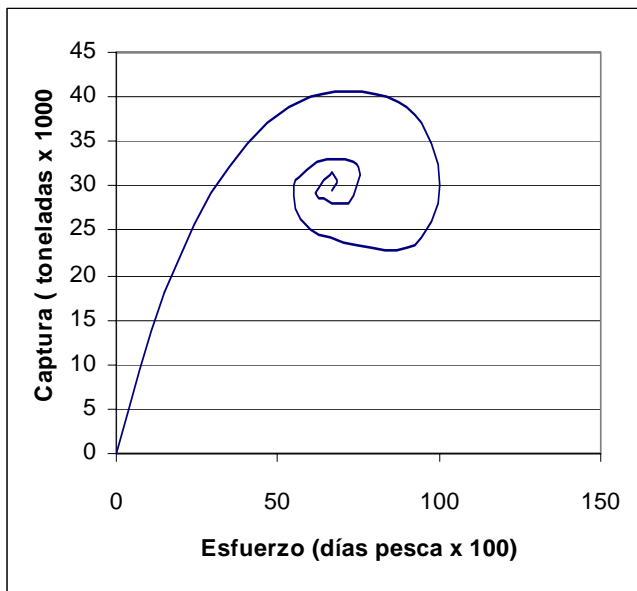


Fig. 1. Dinámica de la Captura vs. Esfuerzo pesquero.

El criterio determinista a que se hace referencia, radica en que se considera que con la salida de una unidad de esfuerzo pesquero (embarcación, anzuelo, pescador, etc.), la pesquería regresará al mismo punto o nivel de captura que se tuvo antes de introducir esa unidad de esfuerzo pesquero que ahora se sustrae. De acuerdo a ese criterio, si se volviera a incorporar la unidad de pesca, el modelo pronostica que se alcanzará el mismo nivel de

captura antes de la sustracción, y así invariablemente se moverá el sistema siempre sobre la misma trayectoria, a manera de *atractor fijo* (dinámica congelada), lo que en la práctica es poco probable que se cumpla.

Los sistemas no están congelados en el tiempo; como expresara Sotolongo (comunicación personal) "los sistemas no son, están siendo"; por lo que un aumento o disminución del esfuerzo pesquero no lleva al sistema, *necesariamente*, a las mismas condiciones (por ejemplo, volumen de captura), que tuvo antes para los mismos niveles de esfuerzo pesquero, ni siquiera en términos promedios durante varios años.

Tomemos como ejemplo la pesca del camarón en la plataforma de Cuba: a principio de la década de los 70 el nivel de esfuerzo pesquero anual estuvo en el orden de 20 000 días pesca (dp), cuando se alcanzaron más de 6 000 toneladas de capturas; en los años siguientes se incrementó hasta unos 35 000 los dp. y, por efecto de la sobrepesca y el represamiento de los ríos las capturas descendieron a 4 000 toneladas; años después, el valor del esfuerzo pesquero regresó al nivel de los 20 000 días pesca, sin embargo las capturas nunca más alcanzaron los niveles de los años 70, por el contrario siguieron descendiendo hasta las 1 500 - 2 000 toneladas (Páez, 1997). Ello evidencia que la abundancia de la población no se recuperó, ratificado por el comportamiento de la cpue (se asume que sea un buen índice de la abundancia), dado que no incrementó sus valores (Fig. 2).

Un conjunto de factores y no uno sólo ha influido en ese resultado; la disminución del alimento, de refugios y de zonas de cría provocadas por el represamiento de los ríos y, la sobrepesca están, sin duda, entre los más importantes, pero además, posiblemente, se ha producido un cambio en la muy compleja dinámica de las interacciones de esa comunidad de organismos marinos. Probablemente, un *nuevo sistema emergió*, y volver éste a su estado primigenio podría representar un deseo, más que una posibilidad real.

Aún cuando se tuviera la quimera de considerar un regreso a las condiciones ambientales exactas de los años 70, la respuesta de la comunidad actual de organismos marinos ante esas condiciones, sería, en el mejor de los casos, sólo parcialmente predecible y existe una alta probabilidad que se desarrolle (regrese) por otra trayectoria diferente (quizá muy diferente) a la que transitó para alcanzar la situación presente.

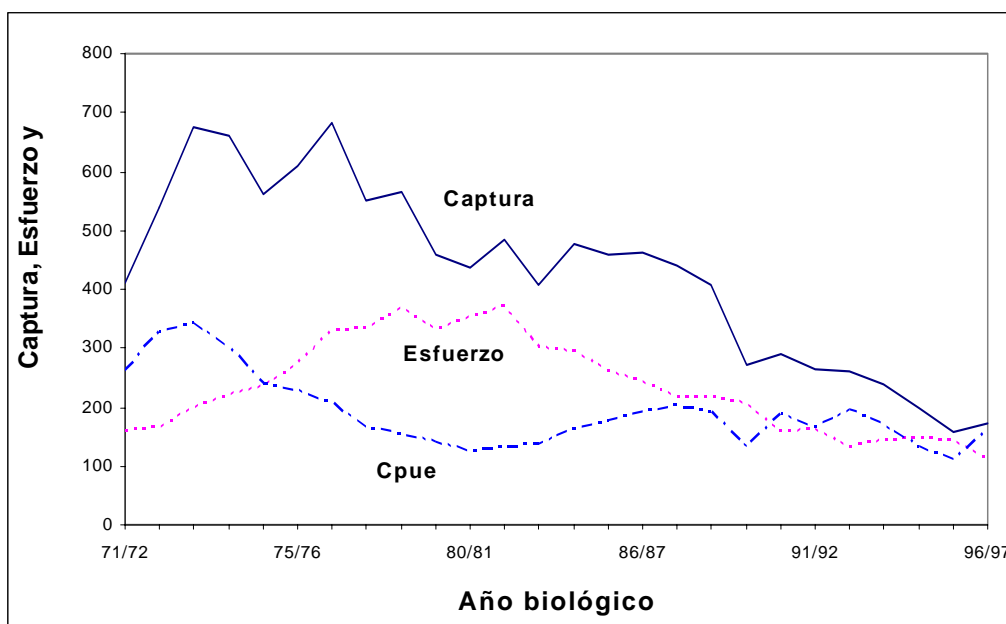


Fig. 2. Captura ( $10^3$  ton), Esfuerzo ( $10^2$  dp) y Cpu (ton/dp) en las pesquerías de camarón en Cuba.

En opinión del autor, esto puede acontecer en diversas pesquerías en el mundo, sin que necesariamente se haya producido una sobrepesca del ecosistema, que sería un caso extremo. No obstante, ninguno de los razonamientos anteriores contradicen la necesidad del empleo de modelos matemáticos para el análisis de las pesquerías, ni la necesidad y utilidad de un manejo adecuado de las pesquerías, una mejor ordenación de las pesquerías puede producir considerables beneficios. Lo que se subraya son las limitaciones de esos modelos y la característica parcialmente pronosticable de los sistemas dinámicos de comportamiento complejos en la naturaleza, a los cuales pertenecen también los recursos pesqueros.

Los científicos y los tomadores de decisiones deben comprender que los ecosistemas están en constante cambio.

A pesar de la aplicación creciente de ecuaciones no-lineales, la ciencia pesquera aún tendrá que hacer mayor énfasis en la consideración de que a estos sistemas les corresponden estas ecuaciones, las que poco a poco irán perfeccionando los modelos de las pesquerías, conjuntamente con la comprensión de la incertidumbre como término de la capacidad parcial de pronóstico propia de estos sistemas y no sólo como falta de información, lo que no equivale a un criterio agnóstico o escéptico de los mismos. Se deberá comprender mejor

también que las condiciones iniciales juegan un papel decisivo en la trayectoria de los sistemas.

Esta ciencia necesitará entender el carácter holístico de los sistemas, como el expresado en la metáfora de las *redes distribuidas* y no en el sentido utilizado tradicionalmente en dinámica de poblaciones marinas para agrupar modelos como los desarrollados por Shaefer (1954, 1957), Fox (1970) y similares, en el contexto de que se evaluaban las pesquerías como una "caja negra" sin tener en cuenta la estructura de la población (lo cual es otro ejemplo de reduccionismo). Los Modelos de Biomasa Dinámica sólo eliminan el supuesto de equilibrio del sistema, que aunque es ya un paso importante, no los eximen de su carácter determinista y están bien lejos de considerar al sistema como tramas multidimensionales dentro de otras tramas multidimensionales distribuidas, es decir articulaciones de redes.

En la evolución de los sistemas naturales, de estar siempre siendo y en la emergencia de un nuevo orden podrían estar muchas de las explicaciones del por qué después de sobrepescar una población, a pesar de la aplicación de medidas de manejo pesquero rigurosas, las pesquerías **no regresan** a los niveles precedentes, donde la producción de biomasa y, por ende, de extracción fue mayor.

Las primeras indicaciones que conoce el autor del acercamiento a algunos de los términos que forman parte del lenguaje específico del *enfoque de la complejidad* en su vinculación con los ecosistemas pesqueros, aparecen en Caddy y Sharp (1988), aunque mencionados aún de manera aislada y, sobre todo, sólo vislumbrando la *posibilidad de su aplicación* en el marco ecológico pesquero. No obstante, en ellos se encuentran conceptos básicos importantes como: “no es posible efectuar cambios aislados”, “visión túnel”, “todos los componentes del ecosistema están vinculados” o cuando estos autores señalaban que: “para toda una serie de mares del planeta no se ha abordado jamás una detallada descripción preliminar, que incluya la distribución y la recolección de datos referidos a los recursos y al medio ambiente. También cuando consideraban: no se dispone aún de un conocimiento de la biología de los componentes claves y sus interacciones; las evaluaciones han considerado por lo general especies aisladas, y que eso tiene inconvenientes obvios en sistemas tropicales complicados, de lo que deriva su interés en la *Teoría de pesquerías multiespecíficas*”, aunque en esto último los autores subestimaron el carácter también complejo de los sistemas no tropicales.

Uno de los aspectos que más desarrollan Caddy y Stomatopoulos (1990) es el de la Teoría de los Fractales y también mencionan a la de las Catástrofes. Estos autores comprendieron y explicaron con mucha claridad la importancia de las interacciones y el concepto de hombre como parte inseparable y no extrínseca de la naturaleza.

Seijo (1997), por su parte, forma parte del pensamiento más avanzado en cuanto a: la integración de disciplinas en la evaluación de los recursos pesqueros, el carácter dinámico y en no-equilibrio de las poblaciones de peces, y la necesidad del uso no lineal y de prueba y error para calcular algunas de las variables objeto de estudio. A la vez que incorpora a la evaluación de las pesquerías, el criterio del valor del dinero en el tiempo como parte del análisis, y al tiempo como elemento intrínseco del sistema y por ende constructor también de la propia evolución del sistema.

Un nuevo paradigma está cambiando la manera simplificada de explicar los procesos que ocurren en la naturaleza y se empiezan a tomar mucho más en serio las interacciones que ocurren entre sus componentes.

A la luz de los conceptos del enfoque de la complejidad, podría parecer que diversas poblaciones marinas explotadas no se han recuperado, ni se podrán recuperar a los niveles máximos anteriores, porque emergió un nuevo orden dinámico (sistema) anidado en los cambios acaecidos en el entorno y en las relaciones entre los componentes del ecosistema.

## REFERENCIAS

- Beverton R.J.H. and S.J. Holt (1957): On the dynamics of exploited fish populations, *Fish. Inv. Min. Agric. Fish. Food G.B. (2 Sea Fish.)*, 19, 533 pp.
- Caddy, J.F. y G.D. Sharp (1988): Un marco ecológico para la investigación pesquera. *FAO Doc. Téc. Pesca*, (283), 155 pp.
- Caddy, J.F. and S. Stomatopoulos (1990): Mapping growth and mortality rates of crevice-dwelling organisms onto a perforate surface: The relevance of “cover” to the carrying capacity of natural and artificial habitats. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 31: 87-106
- Capra, F. (1996): *The Web of Life*. Anchor Books, New York, Editorial Anagrama, S.A., Barcelona 1998, 2da ed., 1999.
- Clark, C.W. (1985): *Bioeconomics Modelling of Fisheries Management*. J. Wiley & Sons, New York, 351 pp.
- Clark, C.W., T. Lauck y G. Munro (1995): *Fisheries uncertainty and the precautionary approach to resource management*. Department of Economics and Mathematics, University of British Columbia, 17 pp.
- Dupont, D.P. (1993): Price uncertainty, expectations formation and fishers' location choices. *Mar. Resour. Econ.*, 8: 219-247.
- Fox, Jr., W.W. (1970): An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99: 80-88.
- García, S., y L. Le Restre (1986): Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones penidos costeros. *FAO Doc. Tec. Pesca*, (203), 180 pp.

Hilborn, R. and C.J. Walters (1992): *Quantitative Fisheries Stock Assessment*. Ed. Chapman and Hall, New York-London, 570 pp.

Páez-Costa, J., L. Font, M. Sosa y M. Morenza (1997): Las pesquerías de camarón de la plataforma cubana. *FAO Fish. Rep. No. 544, Suppl. SLAC/R544 SUPPL*, pp: 155-179.

Pauly, D. (1984): Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators. *ICLARM Stud. Rev.8*, 328 pp.

Pérez, E. y O. Defeo (1996): Estimación de riesgo e incertidumbre en modelos de producción captura-mortalidad. *Biol. Pesq.* (Chile) 25: 3-15.

Prigogine, I. (1989): The Philosophy of instability. *Futures*, pp: 396-400.

Schaefer, M. (1954): Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. I-ATTC/Bol. CIATT*, 1(2):27-56.

Schaefer, M. (1957): A Study of the dynamics of the fishery of yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Bull. I-ATTC/Bol. CIATT*, 2:247-268.

Seijo, J.C., O. Defeo y S. Salas (1997): Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. *FAO Doc. Téc. Pesca.* ( 368), 176 pp.

Sparre, P., E. Ursin y S. Venema (1995): Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. *FAO, Doc. Téc. Pesca*, 306/1 Rev., 440 pp.

Aceptado: 16 de agosto del 2007