

POLÍTICAS DE GESTIÓN DE UN RECURSO PESQUERO: MODELIZACIÓN BIOECONÓMICA DE LA PESQUERÍA DE BOQUERÓN DE LA REGIÓN SURATLÁNTICA

GARCÍA DEL HOYO, Juan José
UNIVERSIDAD DE HUELVA

1.- INTRODUCCIÓN

No hay en nuestro país, al contrario de lo que ocurre en otros de nuestro entorno inmediato, una clara correlación entre la importancia de la flota pesquera y el desarrollo de la investigación socioeconómica sobre la pesca. Los centros oficiales encargados de la investigación pesquera (Instituto Español de Oceanografía, Instituto de Ciencias del Mar, etc...) apenas han mostrado algún interés sobre las aportaciones que desde la Ciencia Económica podrían realizarse y, hasta ahora, han limitado su campo de actuación a la Biología y otras Ciencias de la Naturaleza, sin que fructifiquen experiencias semejantes a las desarrolladas por instituciones como la IFREMER francesa o el CEMARE inglés, que cuentan con equipos multidisciplinares integrando a un buen número de economistas.

La promoción de la investigación económica en materia pesquera no es gratuita ya que, aunque la dinámica de las poblaciones en ausencia de explotación puede explicarse mediante modelos que excluyan la actuación del hombre, en el caso de los recursos pesqueros éste actúa como un depredador más, a menudo el más importante, que regula el comportamiento de los stocks y, por consiguiente, determina la biomasa existente mediante la captura de una porción de ésta. Si bien pueden formalizarse modelos estrictamente biológicos para tratar de diseñar políticas de gestión del recurso, no es posible ignorar que las causas que motivan una mayor o menor intensidad de la pesca pertenecen, generalmente, a la esfera de lo económico. No será factible, por consiguiente, diseñar políticas encaminadas a facilitar una recuperación de los caladeros sin integrar conjuntamente las componentes bióticas y económicas del sistema pesquero. Cuando el pescador sale de puerto y se plantea a que caladero acudir, lo hace en base a expectativas de beneficios y no

a criterios conservacionistas o de preservación del recurso. Aunque esta última afirmación resulte evidente, sólo a partir de la década de los cincuenta comienza a desarrollarse una verdadera Teoría Económica de la Pesca con los trabajos de H. S. Gordon (1954), J. Crutchfield y A. Zellner (1956) y M. B. Schaefer (1957). Posteriormente, tras el desarrollo de la Teoría del Control Óptimo, los modelos estáticos anteriores se modifican, permitiendo la determinación de la senda óptima de capturas o esfuerzo pesquero bajo el objetivo de maximización del valor social neto de la pesca como puede encontrarse en Smith (1969), Plourde (1970) o Clark (1973). Surgen así, frente al objetivo biológico de determinar el nivel de capturas o rendimiento máximo sostenible (RMS), criterios económicos de maximización estática de rentas o rendimiento económico máximo (REM) o, en un entorno dinámico, la optimización del valor social neto de la pesquería o rendimiento económico óptimo (REO). No se tratan de objetivos excluyentes sino que, en general, la consecución del óptimo económico es mucho más conservacionista que la mera fijación del RMS dado que, al considerar los costes de explotación, suele ser frecuente que aquel nivel de stock que proporciona la máxima captura sostenible sea inferior al que proporciona la mayor utilidad social neta. Como ilustración de lo dicho, desarrollaremos un modelo bioeconómico para la pesquería de boquerón de la región suratlántica, y más concretamente a la desarrollada por la flota de cerco con base en los puertos de la provincia de Huelva.

2.- MODELO BIOLÓGICO

La anchoa, bocarte o boquerón (*Engraulis encrasicolus*) es un pequeño pelágico que forma cardúmenes de millones de individuos que en determinadas épocas del año se acercan a la costa para desovar. El período de reproducción varía con la latitud y suele realizarse entre los meses de abril a septiembre, durante los cuales se localizan enormes bancos en el litoral formados, en su mayoría, por hembras reproductoras cuya puesta individual alcanza la cifra de más de 40.000 huevos. La mortalidad larvária suele encontrarse muy condicionada por factores ambientales de manera que el reclutamiento anual (individuos jóvenes que cada temporada se incorpora al stock adulto) suele depender más de éstos que del stock de reproductores que le dio origen. A un año de edad se produce el reclutamiento de los individuos y su madurez sexual, época en la que alcanzan una longitud media de 12 cm. y un peso de 13 grs. Las capturas integran en más de un 70% a individuos nacidos el año anterior siendo extraño encontrar individuos de más de tres años en zonas cercanas a la costa. Estas características nos permitirán formular un modelo adecuado para

describir la dinámica del stock analizado.

Si denotamos por R_t al stock de individuos existentes al principio de una temporada de pesca, resulta lógico pensar que éste se encontrará integrado tanto por los nuevos individuos nacidos durante el año anterior como por los supervivientes de los reproductores del año anterior. Sin embargo, dado que los individuos de más de un año de edad representan una cantidad mínima de las capturas, despreciaremos su inclusión. De esta forma, para la campaña t -ésima de pesca, los individuos que sobrevivieron a la campaña anterior (S_{t-1}) integrarán el stock de reproductores. Los supervivientes de la puesta anual que alcanzan el estado adulto formarán el nuevo stock de individuos reclutados (R_t). Este proceso puede describirse mediante la ecuación $R_t = G(S_{t-1})$, donde la función $G(\cdot)$ recibe el nombre de relación de reclutamiento. De este stock de individuos reclutados una porción variable será capturada por la flota de pesca (h_t) y el nuevo stock de reproductores vendrá dado por la diferencia $S_t = R_t - h_t$, que generará el stock de reclutas a principios de la temporada de pesca siguiente (R_{t+1}).

Aunque en la literatura biológica existen diversas formas para la función $G(\cdot)$, quizás la más adecuada para modelizar el comportamiento de una especie como la descrita sea la dada por Beverton y Holt (1957) que se sustenta en la hipótesis de que el número de supervivientes a la etapa larvária viene dado por una curva logística en la que los coeficientes representan mortalidades densidad-dependiente (por canibalismo y competencia) y densidad-independiente (por causas ambientales) y en suponer una tasa de fertilidad fija por unidad de biomasa¹. Para determinar las capturas anuales utilizaremos la versión discreta del modelo de Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala de Schaefer (1954) dada por Spence (1974) que depende de un parámetro q denominado coeficiente de capturabilidad, del nivel del stock de reclutas y del esfuerzo de pesca

¹ El modelo propuesto por Beverton y Holt (1957) viene dado por la siguiente relación de reclutamiento

$$G(S_{t-1}) = \frac{b_1 S_{t-1}}{1 + b_2 S_{t-1}}$$

donde el parámetro β_1 se encuentra relacionado con la mortalidad densidad-independiente y β_2 con la densidad-dependiente. La forma de dicha función es cóncava con una asíntota horizontal para un reclutamiento $R = \beta_1/\beta_2$. La condición básica para que la población alcance un equilibrio es $\beta_1 > 1$.

desarrollado por la flota². Bajo el supuesto de un reclutamiento sujeto a variaciones aleatorias y a la existencia de errores de medida en las capturas, dada la baja fiabilidad de las estadísticas pesqueras oficiales, el modelo stock-reclutamiento a utilizar adoptará la forma de un modelo estado-medida:

$$h_t = R_t (1 - e^{-qE_t}) + u_t \quad (1)$$

$$R_t = \frac{b_1 (R_{t-1} - h_{t-1})}{1 + b_2 (R_{t-1} - h_{t-1})} + w_t \quad (2)$$

donde las series de esfuerzo y capturas se suponen observables y dadas, la variable stock de peces reclutados (R_t) se considera no observable y deberemos estimar los parámetros β_1 , β_2 y q , así como las varianzas (precisiones) de los errores de medida y observación.

Para ello se ha utilizado el denominado "Muestreo de Gibbs" consistente en una modificación del algoritmo de Metropolis (1953) desarrollada por Geman y Geman (1984). Posteriormente Tanner y Wong (1987) y Gelfand y Smith (1990) han popularizado su uso para la resolución de diversos problemas de estimación en un entorno bayesiano. Entre las diversas aplicaciones desarrolladas en la literatura cabe destacar la estimación de modelos estado-medida no lineales por Carlin, Polson y Stoffer (1992), semejante al procedimiento seguido en este trabajo. El algoritmo de estimación se ha programado en Gauss 2.1.

La distribuciones "a priori" para los parámetros del problema se han supuesto normales, asignando como valor medio las estimaciones obtenidas utilizando el método de Schnute (1977) y suponiendo un coeficiente de variación del 10%. En el caso que nos ocupa el problema fundamental para la implementación del método reside en la determinación de las distribuciones condicionales completas, que han sido aproximadas a normales utilizando el desarrollo en serie de Taylor de primer orden de los términos no lineales.

² La función de Schaefer (1954) supone una mortalidad por pesca proporcional al tamaño del stock adoptando la forma siguiente:

$$h(t) = q X(t) E(t)$$

donde $h(t)$ es la tasa instantánea de capturas, $X(t)$ la biomasa existente en t y $E(t)$ la tasa de esfuerzo desarrollada por la flota. En una temporada $0 < t < T$, suponiendo que $X(0) = S_{T-1}$ y $X(T) = R_T$, se obtiene la expresión de Spence (1974).

TABLA I.- EVOLUCIÓN DE LA CAPTURAS Y EL ESFUERZO EJERCIDO³

AÑO	CAPTURAS (Kg.)	ESFUERZO (Barcos-año)	AÑO	CAPTURA (Kg.)	ESFUERZO (Barcos-año)
1978	538202	38	1987	624981	43
1979	438200	44	1988	565195	43
1980	950991	52	1989	687132	39
1981	498364	53	1990	1094568	39
1982	451612	54	1991	909301	39
1983	804902	57	1992	948641	39
1984	591095	58	1993	1005449	39
1985	371471	50	1994	1119018	39
1986	323839	40	1995	1034810	38

Las precisiones de los errores de proceso y observación se han modelizado mediante distribuciones Gamma. Los resultados obtenidos para una muestra de la conjunta de tamaño $G=300$ y una amplitud para la convergencia de $l=30$ se muestran en la Tabla II. La biomasa de reclutas estimada junto a las capturas y el stock de supervivientes (reproductores) se muestra en la Figura 1.

TABLA II.- RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN

PARÁMETRO	VALOR ESTIMADO	ERROR STANDARD	ESTADÍSTICO t
β_1	6,5412	$3,0018 \cdot 10^{-1}$	21,79
β_2	$2,1288 \cdot 10^{-6}$	$1,1443 \cdot 10^{-7}$	18,60
q	$3,2374 \cdot 10^{-2}$	$1,6660 \cdot 10^{-3}$	19,43

Los resultados anteriores merecen algún comentario adicional. En primer lugar, el nivel máximo asintótico de reclutamiento se sitúa en 3.072,7 Tm. que puede interpretarse como la capacidad de carga del medio en ausencia de explotación pesquera. Asimismo, puede determinarse el equilibrio que proporciona el rendimiento máximo sostenible (RMS), que queda caracterizado

³ La obtención de la información necesaria para este trabajo ha sido laboriosa. La única publicación estadística seriada, el Anuario de Pesca Marítima dejó de publicarse en 1986. Dadas sus múltiples lagunas y deficiencias hemos debido acudir directamente a las Cofradías de Pescadores de Ayamonte, Isla Cristina, Lepe, Punta Umbría y Huelva para poder disponer de una serie homogénea y completa. La información sobre flota se ha extraído de los censos oficiales y de los listados de permisos temporales para la pesca de boquerón.

por un nivel de esfuerzo de 29 barcos-año y unas capturas anuales de 1.206,3 Tm. Dado que las capturas actuales se sitúan en 1.034 Tm. y el esfuerzo en 38 barcos-año, podemos concluir que existen en la actualidad claros síntomas de sobreexplotación biológica del recurso, de forma que reduciendo la flota en 9 unidades podrían obtenerse 200 Tm. anuales más de capturas.

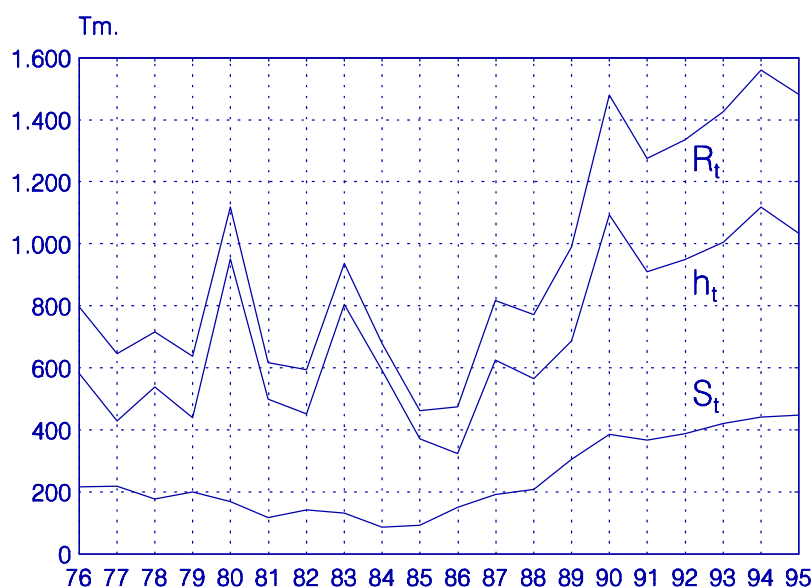


FIGURA 1.- Reclutamiento (R_t), Capturas (h_t) y Supervivientes (S_t)

3.- ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PESQUERÍA

La flota dedicada a la captura de boquerón se encuentra en la actualidad integrada por 38 unidades de las que 23 se encuentran censadas en la modalidad de cerco y otras 15 son artesanales y pequeños arrastreros autorizados estacionalmente a esta pesquería. El tonelaje medio de la flota se sitúa alrededor de las 17 TRB por barco, con una potencia de 134 CV y una tripulación media de 6,2 pescadores. El régimen retributivo imperante es el salario a la parte, de forma que los ingresos netos (descontados los costes de explotación) se reparten al 50% entre la tripulación y el armador. Los costes de explotación se encuentran integrados básicamente por el consumo de gasoil y lubricantes, los suministros de cada marea, los seguros sociales y las comisiones de venta de la Cofradía y la Lonja (1% y 3% sobre las ventas respectivamente). El consumo de gasoil puede estimarse teniendo en cuenta el número medio de horas cada marea (8,5 hrs.), el número de días de pesca (260 por termino medio) y el consumo de carburante por hora de funcionamiento (unos 5,5 ltrs./hora.). Asimismo, los Seguros Sociales se pueden evaluar como un 13% del total de remuneraciones, mientras que el mantenimiento de las artes y equipos y los lubricantes pueden

estimarse en función del TRB del barco en unas 25.000 ptas./trb. Con todo ello, el coste anual de una embarcación de la flota de cerco debe situarse alrededor de 2.875.185 ptas. en 1995, excluidas las remuneraciones. Por otro lado, el precio de venta de las capturas ha oscilado durante los últimos 7 años entre las 300 y las 400 ptas./kg. de boquerón, sin que se pueda verificar una relación entre las cantidades desembarcadas y la cotización en lonja, sino que puede suponerse como dado por el precio medio del mercado nacional. Por esta razón supondremos que el precio de las capturas es invariante con las cantidades desembarcadas, siendo una constante igual a la media del período 1986-1995 ($p = 387$ ptas./Kg.).

Dado lo anterior, la función de beneficios o utilidad social neta en un instante dado podría expresarse mediante la función

$$U[h(t), E(t)] = p h(t) - c E(t) \quad 1$$

donde p es el precio por unidad de capturas, c el coste por unidad de esfuerzo, $h(t)$ la tasa de capturas y $E(t)$ la tasa de esfuerzo. Integrando a lo largo de la temporada de pesca, y considerando que el stock final es S_t y el inicial R_t , podemos expresar la función de utilidad social neta de la temporada de pesca como

$$U[R_t, S_t] = p (R_t - S_t) - \frac{c}{q} \ln\left(\frac{R_t}{S_t}\right) \quad 2$$

teniendo en cuenta la forma funcional dada a la función de capturas. El objetivo económico de los gestores de la pesquería consistirá, como se ha mencionado más arriba, en maximizar el valor actual neto de las capturas a una tasa de descuento constante seleccionada en base a criterios políticos o de mayor o menor carácter conservacionista. Una tasa de descuento nula implicará una distribución intergeneracional equitativa, mientras que a medida que ésta crece se otorga mayor valor a la generación actual y menor a las futuras. Por consiguiente, el problema a resolver no es más que maximizar la función

$$\max J = \sum_{t=1}^{\infty} U[R_t, S_t] r^{t-1} \quad 3$$

sujeto a la restricción que supone la función o relación stock-reclutamiento que gobierna la dinámica del stock de peces. Mediante la aplicación del Principio del Máximo Discreto, puede obtenerse la condición de equilibrio estacionario óptimo como

$$- G'(S) \frac{\partial U / \partial R}{\partial U / \partial S} = \frac{1}{d} \quad 4$$

donde $G(.)$ es la función de reclutamiento, $U(.)$ la de utilidad social neta y δ es la tasa social de descuento. La solución S^* al problema de control determinista formulado, que se obtendrá al solucionar (6), es también óptima, como demuestra Reed (1974, 1979), en el caso más general en el que el reclutamiento sea estocástico. La regla de decisión aplicable será la siguiente: Si $R_t \geq S^*$ entonces debe capturarse la biomasa $R_t - S^*$, en caso contrario la política óptima será no capturar. Nos encontramos ante una regla de control "bang-bang" de la pesquería. Las soluciones de equilibrio para la pesquería gestionada óptimamente se recogen en la Tabla III en función de diferentes tasas de descuento. Puede verificarse como ésta oscila entre reducir la flota a 26,06 barcos-año para una tasa de descuento del 0% (equidad intergeneracional perfecta) y 28,27 barcos-año con una tasa de descuento del 20%. Las trayectorias de aproximación al equilibrio son del tipo TAMR descrito por Spence y Starret (1975), de forma que para situar a la pesquería en el nivel de reclutamiento óptimo de, por ejemplo, 1.959,2 Tm. a una tasa de descuento del 5%, sería necesario reducir las capturas durante el primer año a 658,4 Tm. y, posteriormente, mantener un nivel anual sostenido de capturas de 1.132,69 Tm. Los instrumentos de gestión para lograr que la flota se comporte en el sentido deseable pueden ser diferentes, al igual que sus previsibles efectos. En primer lugar, una posible política podría ser fijar el número de barcos en el nivel óptimo (limitación del esfuerzo de pesca) lo cual podría lograrse autorizando solo a dicho número de barcos para toda la temporada (260 días de pesca) o autorizando a más barcos para períodos más cortos. El principal problema que plantea esta opción es que dada los diferentes grados de eficiencia técnica de las unidades de pesca, las más eficientes se encontrarían obteniendo más renta proporcionalmente que las menos eficientes, por lo que sería posible que éstas últimas operasen en situación de pérdidas. El mismo inconveniente puede encontrarse en el caso de una política regulatoria basada en la fijación de un Total Admisible de Capturas (TAC) para el conjunto de la pesquería, de forma que cuando éste se alcance se cierre la misma. Este instrumento, que es el utilizado por la U.E. en su política atlántica, tampoco sería adecuado ya que impondría una carrera competitiva entre las diferentes unidades para hacerse con un máximo de capturas, motivando nuevas inversiones y malogrando los fines perseguidos.

TABLA III.- SOLUCIONES DE EQUILIBRIO ECONÓMICAMENTE ÓPTIMAS

TASA DE DESCUENTO δ (en %)	NIVEL ÓPTIMO DE SUPERVIVIENTES S^* (en Tm.)	NIVEL ÓPTIMO DE RECLUTAMIENTO R^* (en Tm.)	CAPTURAS ANUALES ÓPTIMAS h^* (en Tm.)	NIVEL ÓPTIMO DE ESFUERZO E^* (en Barcos-año)
0,0	851,87	1980,56	1128,69	26,06
2,5	838,92	1969,75	1130,83	26,37
5,0	826,45	1959,15	1132,69	26,66
7,5	814,49	1948,76	1134,28	26,95
10,0	802,95	1938,58	1135,63	27,23
12,5	791,84	1928,59	1136,75	27,50
15,0	781,13	1918,80	1137,67	27,76
17,5	770,79	1909,18	1138,39	28,02
20,0	760,81	1899,74	1138,93	28,27

Finalmente, desde un punto de vista Pigouviano podría introducirse un sistema impositivo que corrigiese la externalidad manifestada en la ausencia de valoración por los pescadores de los peces no capturados. Para ello puede utilizarse un resultado adicional del proceso de determinación del equilibrio óptimo estacionario. La variable de coestado del Principio del Máximo puede interpretarse como el valor marginal que la sociedad otorga al stock de peces, por lo que para corregir la externalidad basta con imputar a las capturas dicho precio sombra. Por ejemplo, en el caso de una tasa de descuento del 5%, el precio sombra del recurso es de 323 ptas/Kg., por lo que es necesaria la imposición de una tasa sobre las capturas del 16,54% para que los pescadores internalicen la deseconomía externa. Una política como la descrita mantiene todos los inconvenientes de las anteriores, a lo que habría que añadir el riesgo de que sea la institución que recaude la tasa la que realmente absorba los beneficios del sistema de gestión. La única forma razonable de regulación de la pesquería es imponer cuotas individuales de capturas (o limitaciones del esfuerzo) en base a la estructura de costes de las diferentes unidades, de forma que sus tasas de beneficios sobre costes sean semejantes. Diseñar una política tal en la actualidad, con los medios materiales y humanos de los que disponen los servicios de inspección pesquera y la información estadística existente, es una tarea poco menos que imposible pero necesaria para poder garantizar la eficiencia en la explotación de nuestros agotados caladeros pesqueros.

4.- REFERENCIAS

- Beverton, R.J.H. y S. J. Holt**, (1957), "On the Dynamics of Exploited Fish Populations", *Fishery Investigations Series II, XIX*, Londres: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 533 págs.
- Carlin, B.P. et al.**, (1991), "Inference for Nonconjugate Bayesian Models Using the Gibbs Sampler", *Canadian Journal of Statistics*, **19**, 399-405.
- Clark, C.W.**, (1973), "Profit Maximization and the Extinction of Animal Species", *Journal of Political Economy*, **81**, 950-961.
- Crutchfield, J. y Zeller, A.**, (1962), "Economic Aspects of the Pacific Halibut Fishery", *Fishery Industrial Research*, **1** (1), 1-173.
- Gelfand, A.E. y Smith, A.F.M.**, (1990), "Sampled-Based Approaches to Calculating Marginal Densities", *JASA*, **85**, 398-409.
- Geman, S. y Geman, D.**, (1984), "Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions and the Bayesian Restoration of Images", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machines Intelligence*, **6**, 721-741.
- Gordon, H. S.**, (1954), "The Economic Theory of an Common-Property Resource: The Fishery", *Journal of Political Economy*, **62**, 124-142.
- Metropolis, N., et al.**, (1953), "Equations of State Calculations by Fast Computing Machines", *Journal of Chemical Physics*, **21**, 1087-1091.
- Plourde, C.G.**, (1970), "A simple Model of Replenishable Natural Resource Exploitation", *American Economic Review*, **60**, 518-522.
- Reed, W.J.**, (1974), "A stochastic model for the economic management of a renewable animal resource", *Mathematical Bioscience*, **22**, 313-337.
- Reed, W.J.**, (1979), "Optimal escapement levels in stochastic and deterministic harvesting models", *Journal of Environmental Economics and Management*, **6**, 350-363.
- Schaefer, M. B.**, (1954), "Some aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of the Commercial Marine Fisheries", *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, **1** (2), 1-56.
- Schaefer, M.B.**, (1957), "Some Considerations of Population Dynamics and economics in Relation to the Management of the Marine Fisheries", *J. Fish. Res. B. Can.*, **14** (5), 669-681.
- Schnute, J.**, (1977), "Improved estimates from the Schaefer Production Model: Theoretical Considerations", *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **34** (5), págs. 583-603.
- Smith, V. L.**, (1969), "On Models of Commercial Fishing", *Journal of Political Economy*, **77** (2), 181-198.
- Spence, M.**, (1974), "Blue Whales and applied control theory, en Zadeh, C.L. et al. (ed.), *System Approaches for Solving Mathematical Problems*, Gottingen y Zurich: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Spence, M. y Starret, D.**, (1975), "Most rapid approach paths in accumulation problems", *International Economic Review*, **16**, 388-403.
- Tanner, M.A. y Wong, W.H.**, (1987), "The Calculation of Posterior Distributions by Data Augmentation", *JASA*, **82**, 82-86.