Economía Agraria y Recursos Naturales. ISSN: 1578-0732. Vol. 6, 11. (2006). pp. 23-47

Influencia social y sostenibilidad en el uso de recursos renovables

Isabel Almudi y Julio Sánchez Chóliz*

RESUMEN: En este trabajo presentamos un modelo en el que las actividades extractivas referidas a un recurso natural renovable, si son abusivas, generan algún tipo de reacción social que modifica las preferencias sociales. Esta modificación es tenida en cuenta por el planificador a la hora de decidir cual es la asignación intertemporal óptima entre consumo y stock del recurso.

Bajo estas nuevas condiciones, nos preguntamos cómo cambia el stock del recurso natural en el estado estacionario y qué puede decirse acerca de la posibilidad de sobreexplotación en comparación con los modelos tradicionales en los que no se considera reacción social. Los resultados obtenidos muestran que bajo estas nuevas condiciones el stock del estado estacionario aumenta y el comportamiento de la economía se vuelve más conservacionista, disminuyendo el riesgo de sobreexplotación del recurso.

PALABRAS CLAVE: Recursos renovables, Sostenibilidad, Información ambiental, Sobreexplotación.

Clasificación JEL: Q50, Q20, C61.

Social influence and sustainability in the use of renewable resources

* Los autores agradecen a Graciela Chichilnisky, y a los evaluadores anónimos de la Revista *Economía Agraria y Recursos Naturales* sus valiosos comentarios. Asimismo queremos agradecer la financiación recibida de la Fundación Ramón Areces y del proyecto BEC 2003-02827. De existir algún error, es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dirigir correspondencia a: J. Sánchez Chóliz. Departamento de Análisis Económico. Universidad de Zaragoza. Gran Vía, 2. 50005 Zaragoza . E-mail: jsanchez@unizar.es

Recibido en octubre 2005. Aceptado en julio 2006.

ABSTRACT: In this paper we present a model in which we show that if the withdrawal activities referring to a renewable resource are abusive, they generate a social reaction of some kind that changes the social preferences. This change is taken into account by the social planner in deciding the optimal allocation between consumption and stock of the resource. Given these new conditions we ask how the stock of the resource in the steady state changes and what can be deduced about the chance of overuse of the resource.

At the same time we compare these results to the ones obtained with traditional models which did not take social reactions into account. The conclusions obtained show that with these new conditions the stock of the steady state increases and the economy behavior becomes more conservative, diminishing the chance of overuse of the resource.

KEYWORDS: Renewable Resources, Sustainability, Environmental Information, Overuse.

JEL classification: Q50, Q20, C61.

1. Introducción

Una de las características del panorama social y económico de las últimas décadas ha sido el surgimiento de numerosos colectivos sociales y académicos con preocupaciones medioambientales (Wapner, 1995; Viladrich, 2004). La influencia de estos grupos en el diseño de las políticas ambientales y en el cambio en los patrones de producción y consumo parece ser creciente (ver, por ejemplo, Todd y Ritchie, 2000 y O'Rourke, 2004) y se ha intensificado con la agudización de los problemas medioambientales. Sin embargo, llama la atención el escaso esfuerzo que se ha hecho por modelizar este aspecto. Este trabajo analiza formalmente el efecto de la *presión social* (que consideraremos variable), ejercida por los colectivos ambientales, sobre los niveles de conservación y consumo de un recurso natural renovable. Otros trabajos previos han estudiado la relación existente entre grupos de presión y eficiencia de las políticas ambientales (ver, por ejemplo, Hillman and Ursprung, 1992; 1994; Fredriksson, 1997; Aidt, 1998; Conconi, 2003) pero dichos trabajos no abordan el impacto que podrían tener los colectivos ambientales en la modificación de las preferencias sociales, que a su vez determinan los patrones de consumo.

La economía ambiental considera que, en función de las preferencias sociales, los recursos naturales pueden ser valorados desde dos perspectivas: como input productivo o como bien final, considerándose en este caso su valor intrínseco, estético, recreativo...[1]. Formalmente, los autores que se sitúan en esta última línea, han incorporado la valoración intrínseca de los recursos naturales asumiendo que el stock del recurso generaba algún tipo de externalidad positiva (Berck, 1981), o incorporando el stock del recurso natural como argumento de la función de utilidad (ver, entre otros, Krautkraemer, 1985; Beltratti *et al*., 1993; 1995; 1998; Heal, 1998; 2001; Wirl, 1999; 2004; Lafforgue, 2005). La conclusión básica de estos trabajos es que cuando las preferencias sociales incluyen la valoración intrínseca de los recursos naturales, la polí-

[1] Algunos autores (por ejemplo Johanson, 1990; Wirl, 1999) hablan de usos consumptivos (input productivo) y no consumptivos (valor intrínseco) de los recursos naturales.

tica de explotación óptima de los mismos se vuelve más conservacionista. Nuestra investigación, partiendo de los trabajos anteriores, intenta incorporar los efectos de la existencia de colectivos con preocupaciones ambientales, incluyendo como argumento de la función de utilidad una función de *presión social,* que depende tanto del stock del recurso como del nivel de consumo. Buscamos estudiar en qué medida, dicha incorporación, altera los patrones de consumo del recurso.

Para justificar la introducción de la función de *presión social* como argumento de la función de utilidad, suponemos que en sociedades avanzadas la información no es homogénea y se encuentra dispersa entre los distintos agentes [los primeros desarrollos de este supuesto aparecen en Hayek (1945; 1948), para desarrollos recientes consultar Stiglitz (1994)[2]]. En concreto, suponemos que las consecuencias negativas derivadas de la extracción abusiva del recurso natural son percibidas sólo por ciertos sectores sociales (aquellos que las soportan o aquellos cuya «utilidad individual» es más sensible a dichas consecuencias). Estos sectores sociales se organizan y deciden generar algún tipo de acción colectiva (protestas ecologistas, denuncias de los grupos de consumidores, conflictos pesqueros entre países...) que será tanto más intensa cuanto más abusiva sea la extracción del recurso natural y, por tanto, más negativas sean sus consecuencias ambientales. Las protestas sociales tienen como efecto que aquellos que no habían percibido (porque hemos supuesto que la información no es homogénea entre los agentes) las implicaciones negativas del consumo abusivo del recurso natural, queden informados de ellas (O'Rourke, 2004). De tal modo que tras las protestas sociales, el consumidor es consciente de que el consumo abusivo del recurso tiene consecuencias negativas, y esa mayor consciencia (resultado de la acción colectiva) es lo que le lleva a modificar sus preferencias[3]. Como se muestra en el trabajo, la modificación de las preferencias sociales, altera la política de explotación óptima del recurso llevada a cabo por el planificador.

Un claro ejemplo del tipo de procesos que estamos modelizando sería el papel que Greenpeace ha jugado en la configuración de las políticas medioambientales en el último tercio del siglo XX. Desde su constitución, las acciones de esta organización, y la solidaridad creciente que han recibido a medida que se agravaban los problemas del medioambiente, han influido decisivamente en las políticas nacionales y en la firma de tratados internacionales, que ellos no han firmado pero han apoyado.

El primer tratado internacional relacionado con el medioambiente fue el relativo a la regulación de la caza de ballenas (International Convention for the Regulation of Whaling). Fue negociado por delegaciones de 57 países y fue firmado en 1946 en Washigton D.C.

---

[2] Este libro contiene un desarrollo completo de la moderna teoría de la información (información asimétrica, mercados incompletos y problemas de incentivos entre los agentes) y está basado en los trabajos pioneros que este autor desarrolló durante los años setenta y ochenta.

[3] Este comportamiento ha sido estudiado en la literatura, por ejemplo, por Andreoni (1988); (1990); Bergstrom (1995); Popp (2001). Andreoni (1990) habla del efecto *warm glow* subrayando el hecho de que los consumidores derivan satisfacción cuando proveen una pequeña cantidad de un bien público. Trabajos recientes (Eriksson, 2004; Conrad, 2005) han aplicado este concepto a los recursos naturales.

Otro importante ejemplo fue la firma e implementación del Protocolo de Montreal, relativo a la limitación del uso de CFCs en productos de uso cotidiano. En Mayo de 1985 diversos científicos avisaron a la sociedad del descubrimiento de un agujero en la capa de ozono en la Antártida. Dos años después, Naciones Unidas organizaba el *United Nations Environmental Programme* en Montreal, para decidir cuáles eran las sustancias que debían ser retiradas de la circulación comercial por provocar daños irreparables en la capa de ozono. El acuerdo allí alcanzado consiguió que en tan sólo 13 años se redujera en un 90% el uso de productos que contuvieran CFCs. Es indudable además, que la creciente sensibilidad al problema, favoreció la toma de medidas[4].

Para recoger todas las hipótesis expuestas de una manera sencilla, presentamos un modelo en el que el único bien físico existente es un recurso natural renovable cuyo stock puede ser consumido en su totalidad o parcialmente. Además asumimos, siguiendo los trabajos citados, que los recursos naturales son valorados no sólo como fuente de consumo sino también como fuente de valor en sí mismos, por lo que el stock del recurso aparece en la función de utilidad. Más aún, como el modelo intenta incorporar las interacciones ya mencionadas entre la acción colectiva y el planificador, la función de utilidad incorpora como nueva variable la *presión social* (ejercida por la acción colectiva), que en este trabajo supondremos a su vez función del stock y del consumo.

Los resultados obtenidos, a partir de este modelo, muestran que la existencia de *presión social* variable da lugar a estados estacionarios con menor riesgo de sobreexplotación y menores niveles de consumo a lo largo del tiempo, reforzando así la conclusión obtenida por los modelos tradicionales que incluían la valoración intrínseca de los recursos naturales.

De acuerdo con todo lo anterior el artículo se organiza de la siguiente manera: En la sección 2 presentamos los supuestos del modelo general, deducimos la solución estacionaria, estudiamos los efectos que tiene la existencia de *presión social* sobre la solución estacionaria y analizamos bajo qué condiciones obtenemos sobreexplotación del recurso. En la sección 3 realizamos el mismo análisis con funciones particulares, comparando las situaciones resultantes derivadas de niveles de *presión social* diferentes. Como caso límite analizamos el representado por los modelos tradicionales, que incluyen el stock del recurso como argumento de la función de utilidad, pero cuya *presión social* es nula. En la última sección presentamos un comentario final a modo de conclusión.

2. El modelo general

2.1. *Supuestos y descripción analítica*

En el modelo el único bien físico existente es un recurso natural renovable. Suponemos que en esta economía existe un planificador social, encargado de la asignación

[4] Estos ejemplos pueden consultarse en Brown (2001).

intertemporal óptima del recurso y cuyo objetivo es maximizar el bienestar social. La política de extracción óptima responde, por tanto, al siguiente programa de optimización:

$$Max \int_0^{\infty} u(\alpha\,(s_t, c_t), s_t\ , c_t) e^{-\theta t} dt; \ s.a.\ \dot{s}_t = r(s_t) - c_t \qquad [1]$$

Donde α_t, c_t, s_t y θ representan, respectivamente, la *presión social*, el consumo del bien ambiental, el stock de éste y la tasa de descuento temporal.

Para resolverlo formulamos los siguientes supuestos:

Supuesto 1. Por su significado económico supondremos que las variables c_t y s_t, y el parámetro θ son ≥ 0 .

Supuesto 2. La función biológica $r\ (s_t)$ determina el crecimiento natural del recurso y cumple las siguientes propiedades:

$$r\,(0) = 0;$$
$$\text{existe } \overline{s} > 0 \text{ tal que } r\,(s) \leq 0,\ \forall\ s \geq \overline{s}\ ;$$
$$\forall\ s \in (0, \overline{s}),\ r\,(s) \text{ es estrictamente cóncava, continua y doblemente diferenciable}$$

Obsérvese que $\overline{s}$ es el nivel de saturación o máxima capacidad de carga del recurso. Es decir, $\overline{s}$ representa el máximo nivel de stock que el recurso natural puede alcanzar si no existe extracción del mismo o ningún otro factor que limite su crecimiento. Asimismo, sólo existe un nivel de stock para el que la función $r\,(\cdot)$ presenta un máximo. Dicho nivel de stock coincide con el correspondiente al máximo rendimiento sostenible (MSY), esto es, aquella situación en la que el stock del recurso se mantiene en el nivel de crecimiento natural máximo.

De acuerdo con el significado de $r\ (s_t)$, la ecuación $s_t = r\ (s_t) - c_t$ no es otra cosa que el crecimiento real del stock después del consumo.

Supuesto 3. La función $\alpha\ (s_t,\ c_t)$, que aparece como argumento de la función de utilidad, captura los efectos de la *presión social* ejercida por la acción colectiva[5] y tiene las siguientes propiedades:

$$\alpha(s_t, c_t) \geq 0, \forall c_t \geq 0, \forall s_t \in [0, \overline{s}];$$
$$\alpha_{c_t}(s_t, c_t) > 0 \ \text{ y acotada } ; \alpha_{c_t c_t}(s_t, c_t) \geq 0;$$
$$\alpha_{s_t}(s_t, c_t) < 0 \ \text{ y acotada } ; \alpha_{s_t s_t}(s_t, c_t) \geq 0;$$
$$\alpha_{c_t s_t} = \alpha_{s_t c_t} \leq 0$$

La primera condición nos dice que cualquiera que sea el stock, la *presión social* nunca es negativa, aunque puede ser nula. El signo de las primeras derivadas queda justificado porque suponemos que la acción colectiva ejerce más *presión* cuanto mayor es el consumo del recurso o menor el nivel de stock, consumo y stock tienen in-

[5] Suponemos que no existen costes de organización de la acción colectiva. Los costes de control de «free riders» también se suponen nulos.

fluencias contrarias y sus efectos sobre el recurso son opuestos. El signo de las derivadas cruzadas es coherente con esta última afirmación. El signo de las otras dos derivadas segundas indica que el aumento (la reducción) marginal de la *presión social* crece (disminuye) conforme el nivel de consumo del recurso (de stock disponible) aumenta. Finalmente, la acotación de las primeras derivadas impone, por simplicidad y por interpretación, límites a la reacción vía *presión social* de la acción colectiva.

Supuesto 4[6]. La función de utilidad instantánea del consumidor representativo (que por simplicidad lo suponemos único):

$$u = u\,[\alpha\,(s_t, c_t), s_t, c_t)] \qquad [2]$$

es continua y doblemente diferenciable en sus tres variables y los signos de las primeras y segundas derivadas son:[7]

$$\begin{gathered}
u_{c_t} > 0; u_{c_t c_t} < 0; \\
\lim_{c_t \to 0,\, s_t \text{ dado}} u_{c_t} = \infty \quad \text{y} \quad \lim_{c_t \to \infty,\, s_t \text{ dado}} u_{c_t} = 0; \\
u_{s_t} > 0; u_{s_t s_t} < 0; \\
u_{s_t c_t} = u_{c_t s_t} \geq 0; \\
u_\alpha < 0 \text{ y acotada } ; u_{\alpha\alpha} \leq 0; u_{c_t \alpha} \leq 0; u_{s_t \alpha} \geq 0;
\end{gathered}$$

[6] Formalmente, adoptando una posición metodológica similar a la de Stigler y Becker (1977), suponemos que la función de utilidad del planificador está definida no sólo sobre las cantidades físicas de stock y consumo del recurso natural sino también sobre un *mal*, asimilable a una *commodity* tipo Stigler y Becker (1977) generadora de desutilidad, que vamos a llamar *presión social*. Este mal está asociado con las cantidades de consumo y stock del recurso, creciendo con el consumo y reduciéndose con el nivel de stock.

[7] Las propiedades de la función $u = u\,[\alpha\,(s_t, c_t), s_t, c_t]$ aseguran que la función de utilidad

$$U\,(s_t, c_t) = u\,[\alpha\,(s_t, c_t), s_t, c_t]$$

que se obtiene tras incorporar la presión social, cumple las propiedades:

$$U_{c_t c_t} < 0;\ U_{s_t} > 0;\ U_{s_t s_t} < 0;\ U_{s_t c_t} = U_{s_t c_t} \geq 0$$

como puede verse directamente de las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
U_{c_t c_t} &= u_{\alpha\alpha}\alpha_{c_t}\alpha_{c_t} + u_{\alpha c_t}\alpha_{c_t} + u_\alpha \alpha_{c_t c_t} + u_{c_t \alpha}\alpha_{c_t} + u_{c_t c_t} < 0; \\
U_{s_t} &= u_\alpha \alpha_{s_t} + u_{s_t} > 0; \\
U_{s_t s_t} &= u_{\alpha\alpha}\alpha_{s_t}\alpha_{s_t} + u_{\alpha s_t}\alpha_{s_t} + u_\alpha \alpha_{s_t s_t} + u_{s_t \alpha}\alpha_{s_t} + u_{s_t s_t} < 0; \\
U_{c_t s_t} &= u_{\alpha\alpha}\alpha_{s_t}\alpha_{c_t} + u_{\alpha s_t}\alpha_{c_t} + u_\alpha \alpha_{c_t s_t} + u_{c_t \alpha}\alpha_{s_t} + u_{c_t s_t} \geq 0;
\end{aligned}$$

Cumple, por tanto, las propiedades usuales salvo

$$U_{c_t} = u_a\,\alpha_{c_t} + u_{c_t} > 0;$$

que asumimos por hipótesis y que es requerida por su sentido económico.

El signo de las primeras derivadas de la función de utilidad responde a que la utilidad del planificador aumenta cuando aumentan las cantidades físicas de consumo o el stock del recurso. A un criterio similar responde el signo de la derivada cruzada del consumo y el stock. Por el contrario, la utilidad del planificador disminuye cuando aumenta la *presión social* (que es un *mal* para el planificador[8]), lo que se concreta en el signo negativo de u_α; la acotación impone un límite a la reacción del planificador ante la *presión*.

El signo de las segundas derivadas, con respecto al consumo y stock del recurso, recoge el efecto saturación. Es decir, conforme aumenta el nivel de consumo o stock, la utilidad marginal derivada de los mismos disminuye. El signo de la segunda derivada con respecto a la presión social recoge el hecho de que la desutilidad marginal es tanto mayor cuanto más intenso es el nivel de *presión social*, capturando así el incremento de la sensibilidad a medida que crecen los efectos negativos del aumento del consumo o la reducción del stock. Las derivadas cruzadas con la *presión social* recogen el carácter paralelo o contrario del consumo o el stock en relación con la *presión social*.

Por último, señalemos que de ahora en adelante, por simplicidad y por favorecer la interpretación económica, supondremos como es usual, ver Heal (1998), que $U(s_t, c_t) = u\,[\alpha(s_t, c_t), s_t, c_t)]$ es siempre separable.

2.2. *Caracterización del estado estacionario*

Una vez descritas las funciones de nuestro problema y su significado económico, para resolver el problema de asignación intertemporal óptima del recurso natural descrito por [1] planteamos el Hamiltoniano correspondiente:

$$H = u\,[\alpha(s_t, c_t), s_t, c_t)]\, e^{-\theta t} + \lambda_t\,[r(s_t) - c_t]$$

Siguiendo las técnicas habituales que permiten resolver este tipo de problemas de optimización dinámica planteamos las condiciones necesarias:

$$\begin{aligned}
\partial H/\partial s_t &= [u_\alpha \alpha_{s_t} + u_{s_t}]\, e^{-\theta t} + \lambda_t r'(s_t) = -\dot{\lambda}_t \\
\partial H/\partial \lambda_t &= r(s_t) - c_t = \dot{s}_t \\
\partial H/\partial c_t &= [u_\alpha \alpha_{c_t} + u_{c_t}]\, e^{-\theta t} - \lambda_t = 0 \\
\lim_{t\to\infty} (\lambda_t s_t) &= 0
\end{aligned}$$

Siendo c_t la variable control, s_t la variable estado y λ_t el precio sombra del recurso natural. En nuestro caso, ver anexo, estas condiciones son también suficientes si $U_{c_t c_t} U_{s_t s_t} - U^2_{s_t c_t} \geq 0$; además, si $U_{c_t c_t} U_{s_t s_t} - U^2_{s_t c_t} > 0$, la trayectoria óptima es única. En

[8] Recordemos que la desutilidad viene motivada porque, tras las protestas sociales, el consumidor adquiere mayor consciencia de las consecuencias negativas del consumo abusivo del recurso.

el caso general asumiremos esta última condición para asegurar la suficiencia y la unicidad.

La condición de transversalidad nos asegura el valor nulo del stock del recurso en el estado estacionario[9].

De las condiciones necesarias, por los métodos usuales, pueden obtenerse las expresiones que caracterizan la solución estacionaria de nuestro problema.

Proposición 1. *Cualquier solución estacionaria debe cumplir*[10]:

$$r\,(s^*) = c^* \qquad [3]$$

$$\frac{u_\alpha\,\alpha_{s^*} + u_{s^*}}{u_\alpha\,\alpha_{c^*} + u_{c^*}} = \theta - r'\,(s^*) \qquad [4]$$

Las ecuaciones de la proposición 1 nos dan una doble información sobre el estado estacionario[11]: el efecto en él de la *presión social* y su caracterización económica. Con respecto al primero, las expresiones de la utilidad marginal del stock y del consumo, $u_\alpha\,\alpha_{s^*} + u_{s^*}$ y $u_\alpha\,\alpha_{c^*} + u_{c^*}$, muestran el efecto de la *presión social*, incorporada a través de $\alpha\,(s_t, c_t)$. Este puede descomponerse a su vez en tres: dos «efectos información» capturados a través de α_s y α_c, y un «efecto asimilación» asociado con u_α. Los primeros incorporan la mayor o menor capacidad de los sectores sociales, que soportan las consecuencias negativas de la extracción del recurso o son sensibles a ellas, para generar algún tipo de acción colectiva. Esta sensibilidad crece con el consumo ($\alpha_c > 0$), y disminuye cuando aumenta el nivel de stock ($\alpha_s < 0$). A diferencia de estos efectos, asociados con la acción colectiva, el efecto asimilación recogido por u_a mide la forma en que la *presión social* influye en el planificador (y por tanto, en el consumidor representativo), o mejor dicho, la forma en que modifica la función de utilidad social, que disminuye al aumentar la *presión social* (vía mayor concienciación del consumidor). El efecto de la *presión social* también puede verse más intuitivamente suponiendo una disminución Δc del consumo y el mismo incremento en el stock. La variación correspondiente de la utilidad será:

$$-\Delta c\left(u_{c_t} + u_\alpha \alpha_{c_t}\right) + \Delta c\left(\int_0^\infty (u_{s_t} + u_\alpha \alpha_{s_t})\, e^{r' t} e^{-\theta t}\, dt\right) \qquad [5]$$

En [5] tenemos una disminución de la utilidad por reducción del consumo y un aumento de esta por la mayor disponibilidad de recurso. La disminución tiene dos

[9] Notemos que toda solución estacionaria (s^*, c^*), por la tercera de las condiciones necesarias verifica $\lim_{t \to \infty}, \lambda_t =$ lo que hace que el valor del stock sea nulo aunque no lo sea éste.

[10] El asterisco en el subíndice de las variables denota el hecho de que el nivel de consumo y stock del recurso se refieren al estado estacionario, en el cual estas variables son constantes.

[11] Obsérvese también que la expresión correspondiente a la ecuación [4], como $u_\alpha\,\alpha_{s^*} + u_{s^*} > 0$ y $u_\alpha\,\alpha_{c^*} + u_{c^*} > 0$ exige que la tasa de descuento temporal sea superior al crecimiento marginal del recurso y que s^* sea superior al valor $\hat{s}$ tal que $\theta = r'\,(\hat{s})$.

componentes, una negativa $-\Delta c \cdot u_{c_t}$, consecuencia directa del menor consumo, y otra positiva $-\Delta c \cdot u_\alpha \alpha_{c_t}$, que recoge la menor *presión social* resultado de la disminución en el consumo. A su vez, el aumento también tiene otras dos componentes, ambas positivas: el incremento directo de utilidad por un mayor stock, $\Delta c. \int_0^\infty u_{s_t} e^{r't} e^{-\theta t} dt$, y el incremento asociado con la menor *presión* debida a la existencia de más recurso, $\Delta c. \int_0^\infty u_\alpha \alpha_{s_t} e^{r't} e^{-\theta t} dt$. Integrando por partes y teniendo en cuenta que $r' - \theta < 0$, la expresión [5] puede transformarse en

$$-\Delta c \left(u_{c_t} + u_\alpha \alpha_{c_t}\right) + \Delta c \left(\frac{u_\alpha \alpha_{s_t} + u_{s_t}}{\theta - r'} \right) \qquad [6]$$

Si tenemos en cuenta ahora que en el estado estacionario la utilidad es máxima y que las ganancias y pérdidas deben compensarse, la expresión [5] debe ser nula, lo que nos lleva a la condición [4] de la proposición 1.

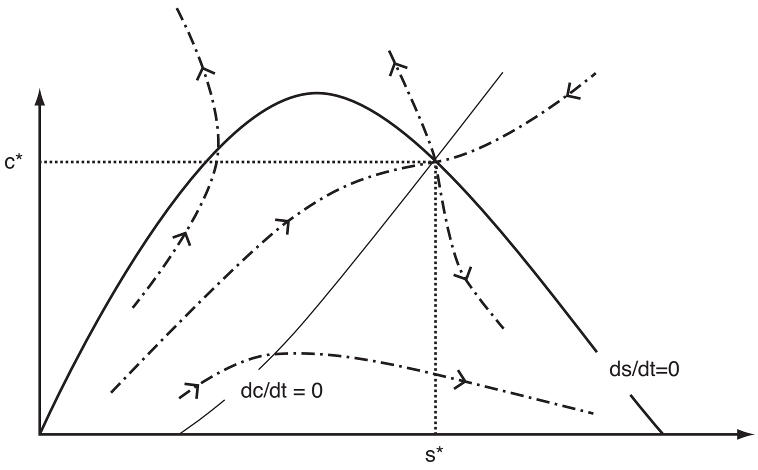
Por otra parte, si definimos el estado estacionario como aquel punto (s^*, c^*) en el que el planificador maximiza el bienestar social y stock del recurso y consumo son constantes, la proposición 1 nos asegura que: *i)* en éste, el consumo se iguala a la autorreproducción del recurso (ecuación 3) y, *ii)* la relación marginal de sustitución entre stock y consumo del recurso debe ser igual a la relación marginal de transformación, esto es, a la diferencia entre la tasa de descuento temporal y el crecimiento marginal del recurso (ecuación 4).

Este resultado es usual en este tipo de modelos (aquellos que incluyen el stock del recurso como argumento de la función de utilidad). No obstante, en los modelos tradicionales no existe *presión social* y la expresión de [4] es más sencilla. Si en nuestro modelo la *presión social* no depende ni del consumo ni del stock del recurso o ésta no tiene impacto sobre las preferencias del planificador (efecto información y asimilación nulos), el resultado obtenido sería análogo al obtenido en los modelos tradicionales (ver, por ejemplo, Beltratti *et al*., 1998). Lo mismo ocurriría aunque no se cumplan ninguna de las dos condiciones anteriores, si los «efectos información» y «asimilación» son transitorios (no permanentes) y desaparecen con el tiempo.

Concluimos el apartado con un breve comentario sobre la dinámica de transición que lleva al estado estacionario. La dinámica que hemos obtenido es del mismo tipo que la de los modelos de crecimiento con horizonte infinito, como puede observarse en la figura 1. Las distintas trayectorias pueden obtenerse, en cada zona, teniendo en cuenta los signos de $\dot{c}$ y $\dot{s}$. La curva $\dot{c} = 0$ que corresponde a los puntos que verifican la condición [4], es una curva creciente y no parte del origen, como veremos en el apartado siguiente. Por otra parte, $\dot{s} = 0$ es estrictamente cóncava porque es la curva $c_t = r(s_t)$. El punto de intersección entre ambas se corresponde con el estado estacionario del sistema, que representa el nivel de consumo y stock del recurso al que tiende la economía. Es además un «punto silla» del sistema dinámico, existiendo una única trayectoria estable y convergente. Dicha trayectoria define, para cada nivel de stock dado, el nivel de consumo que debe elegir el planificador.

FIGURA 1

Diagrama de fases



2.3. *Variación del estado estacionario con la presión social*

En este apartado analizamos como varían el nivel de consumo y stock del estado estacionario en función de la mayor o menor *presión social* existente. El análisis muestra que cuanto mayor es la *presión social*, mayor es el nivel de stock de estado estacionario.

Veamos este resultado más detenidamente. Diremos que en una economía la *presión social* con $\alpha^1 (s_t, c_t)$ es mayor que con $\alpha^2 (s_t, c_t)$ cuando simultáneamente se dan las siguientes tres condiciones:

1) $u^1_{\alpha^1}\, \alpha^1_{s_t} + u^1_{s_t} \geq u^2_{\alpha^2}\, \alpha^2_{s_t} + u^2_{s_t}$, $\forall\ (s_t, c_t)$
2) $u^1_{\alpha^1}\, \alpha^1_{c_t} + u^1_{c_t} \geq u^2_{\alpha^2}\, \alpha^2_{c_t} + u^2_{c_t}$ $\forall\ (s_t, c_t)$
3) y alguna de las anteriores desigualdades es estricta.

Es decir, la *presión social* es mayor cuando la utilidad marginal del stock lo es o la utilidad marginal del consumo es más pequeña. Para probar que el stock en el estado estacionario es tanto mayor cuanto mayor es la *presión social*, veamos primero que la curva $\dot{c} = 0$ es estrictamente creciente. Esta curva está definida por

$$\frac{u_\alpha\, \alpha_{s_t} + u_{s_t}}{u_\alpha\, \alpha_{c_t} + u_{c_t}} = \theta - r'\, (s_t)$$

Que también podemos escribir como:

$$U_{s_t} - U_{c_t}\, [\theta - r'\, (s_t)] = 0$$

Al ser $U_{s_tc_t} - U_{c_tc_t}\,[\theta - r'\,(s_t)] \neq 0$, por el teorema de la función implícita podemos asegurar que los puntos que verifican $\dot{c} = 0$ son los de una curva $c_t = g\,(s_t)$. Además, derivando la expresión anterior respecto a s_t tendremos:

$$\begin{aligned}
&0 = U_{s_ts_t} + U_{s_tc_t}\,g'(s_t) - [U_{c_ts_t} + U_{c_tc_t}\,g'(s_t)][\theta - r'(s_t)] + U_{c_t}\,r''(s_t)\\
&\Rightarrow g'(s_t)[-U_{s_tc_t} + U_{c_tc_t}[\theta - r'(s_t)]] = U_{s_ts_t} - U_{c_ts_t}[\theta - r'(s_t)] + U_{c_t}\,r''(s_t)\\
&\Rightarrow g'(s_t) > 0
\end{aligned}$$

lo que nos prueba que $g\,(s_t)$ es estrictamente creciente. Más aún, como,

$$\lim_{c_t \to 0,\, s_t \text{ dado}} u_{c_t} = \infty,$$

por [4] y recordando que u_a, α_{s_t} y α_{c_t} y son acotadas, podemos asegurar que

$$\lim_{c_t \to 0,\, c_t = g\,(s_t)} \theta - r'\,(s_t) = 0,$$

lo que significa que todas las curvas $g\,(s_t)$ parten del punto $(0, \hat{s})$, siendo el stock definido por $r'\,(\hat{s}) = \theta$. Igualmente, teniendo en cuenta como hemos obtenido $s_t = g\,(s_t)$, en el diagrama de fases (figura 1) se verificará

$$\frac{u_\alpha\,\alpha_{s_t} + u_{s_t}}{u_\alpha\,\alpha_{c_t} + u_{c_t}} > (<)\ \theta - r'\,(s_t) \text{ si } (s_t, c_t) \text{ está a la izquierda (derecha) de } c_t = g\,(s_t)$$

Vistas estas propiedades de la curva $c_t = g\,(s_t)$ supongamos que la *presión* con $\alpha^1\,(s_t, c_t)$ es mayor que con $\alpha^2\,(s_t, c_t)$ y sean $g^1\,(s_t)$ y $g^2\,(s_t)$, las curvas correspondientes de cada caso. Sea (s_t, c_t) un punto cualquiera de $g^2\,(s_t)$, por la caracterización de *presión social* mayor [condiciones 1)-3) del inicio de este apartado], es inmediato que en ese punto

$$\frac{u^1_\alpha\,\alpha^1_{s_t} + u^1_{s_t}}{u^1_\alpha\,\alpha^1_{c_t} + u^1_{c_t}} > \theta - r'\,(s_t)$$

Luego todo punto de $g^2\,(s_t)$ está situado a la izquierda de $g^1\,(s_t)$, coincidiendo ambas curvas únicamente en $\hat{s}$. En consecuencia, el estado estacionario con $\alpha^1\,(s_t, c_t)$ estará más a la derecha y tendrá un nivel de stock del recurso mayor. Esto es lo que se afirma en la siguiente proposición:

Proposición 2. *Si definimos mayor presión como se ha hecho anteriormente [condiciones 1)-3)] y se cumplen las restantes condiciones exigidas en el modelo, el punto de estado estacionario tendrá un mayor nivel stock del recurso cuanto mayor sea la presión social.*

La interpretación económica de esta proposición es inmediata, cuanto mayor es la presión social mayor difusión tienen las consecuencias negativas del consumo abusivo del recurso, y por tanto, mayor es la consciencia del consumidor sobre dichas consecuencias (consciencia que incorpora en sus preferencias). Esto lleva al planificador social a modificar la política de explotación óptima del recurso, siendo ésta, tanto más conservacionista cuanto mayor es la *presión social*.

2.4. *Caracterización de la sobreexplotación*

Dados los resultados obtenidos en los apartados anteriores, en este epígrafe nos preguntamos bajo qué condiciones se dará sobreexplotación del recurso teniendo en cuenta la existencia de *presión social*.

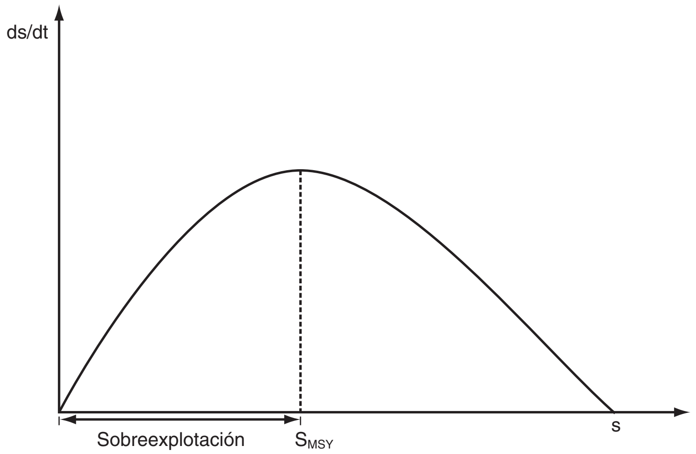
Dada una función de autorrenovación del recurso estrictamente cóncava, como la que estamos utilizando en este trabajo, la literatura habitual sobre recursos naturales (ver, por ejemplo, Gordon, 1954; Schaefer, 1954; 1957; Clark, 1973; 1990) define dos conceptos básicos: *Máximo Rendimiento Sostenible* y *Sobreexplotación*.

1. *Máximo Rendimiento Sostenible* (MSY): En modelos de crecimiento biológico, como el que estamos utilizando, para cualquier nivel de stock por debajo de un cierto nivel (que se considera el máximo nivel de stock que el medioambiente puede soportar de una determinada población biológica, dadas unas determinadas condiciones de espacio, alimento...), la reproducción del recurso genera un plus, que puede ser extraído sin que se altere el stock total del mismo. El MSY se alcanza cuando dicho «plus» es máximo.
2. *Sobreexplotación*: Se considera que existe sobreexplotación cuando el nivel de stock del recurso se sitúa por debajo del correspondiente al MSY.

En nuestro modelo el nivel s es $\overline{s}$ y el rango de niveles de stock que presentan sobreexplotación corresponde a $(0, s_{max})$. En la siguiente figura hemos ilustrado ambos conceptos:

FIGURA 2

MYS y sobreexplotación

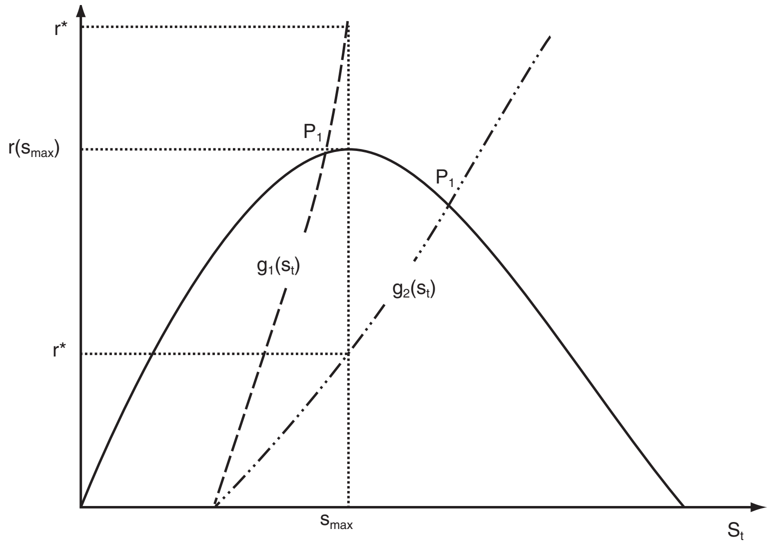


Volviendo a nuestro modelo, a continuación vamos a analizar bajo qué condiciones obtendríamos sobreexplotación del recurso.

En la figura 3 puede verse la representación de tres curvas. Las dos crecientes [$c_t = g_1(s_t)$ y $c_t = g_2(s_t)$] se corresponden con la curva $\dot{c} = 0$, para dos niveles distintos de *presión social* [la *presión social* de $c_t = g_1(s_t)$ es menor que la de $c_t = g_2(s_t)$]. La curva estrictamente cóncava se corresponde con la expresión $c_t = r(s_t)$.

FIGURA 3

Posibilidad de sobreexplotación



Los puntos de corte P_1 y P_2 se corresponden con los estados estacionarios de cada caso. El situado más a la derecha corresponde a un caso en que la *presión social* es mayor. La figura muestra claramente que habrá sobreexplotación si el punto de equilibrio se sitúa a la izquierda del máximo de la función de renovación del recurso, esto es lo que ocurre con la curva $c_t = g_1(s_t)$. Todo ello nos permite caracterizar formalmente la existencia de sobreexplotación a partir de las curvas $c = g(s)$ y $c = r(s)$, como $c = g(s)$ es estrictamente creciente, hay sobreexplotación si y sólo si

$$r^* = g(s_{\max}) > r(s_{\max}),$$

Otra caracterización de la situación de sobreexplotación puede obtenerse a partir de [4]. Por definición r^* verifica:

$$\theta = \frac{u_\alpha(\alpha(s_{\max}, r^*),\ s_{\max}, r^*)\alpha_s(s_{\max}, r^*) + u_s(\alpha(s_{\max}, r^*), s_{\max}, r^*)}{u_\alpha(\alpha(s_{\max}, r^*),\ s_{\max}, r^*)\alpha_c(s_{\max}, r^*) + u_c(\alpha(s_{\max}, r^*), s_{\max}, r^*)}$$

$$\Leftrightarrow \theta = \frac{U_s(s_{\max}, r^*)}{U_c(s_{\max}, r^*)}$$

Además, como $U_{sc} \geq 0$ y $U_{cc} < 0$ podemos asegurar que

$$r^* > r(s_{\max}) \Leftrightarrow \theta > \theta_{\max} = \frac{U_s(s_{\max}, r(s_{\max}))}{U_c(s_{\max}, r(s_{\max}))}$$

y, por tanto, habrá explotación si $\theta > \theta_{\max}$.

Observemos que el aumento de *presión social*, (entendida como se ha establecido anteriormente en las condiciones 1)-3) del apartado 2.3) supone el incremento de $U_s\, [s_{\max}, r(s_{\max})]$ y/o la disminución de $U_c\, [s_{\max}, r(s_{\max})]$. En consecuencia, el aumento de presión social eleva el valor $\theta_{\max}$ y la sobreexplotación es menos esperable.

Resumiendo, podemos establecer la siguiente proposición:

Proposición 3. *Existe sobreexplotación si y sólo si la tasa de descuento temporal verifica* $\theta > \theta_{\max} = \dfrac{U_s\,(r\,(s_{\max}), s_{\max})}{U_c\,(r\,(s_{\max}), s_{\max})}$. *Por tanto, para valores suficientemente altos de* θ *habrá sobreexplotación. Igualmente, para valores suficientemente altos de la presión social,* θ *no superará el valor* $\theta_{\max}$ *y no habrá sobreexplotación.*

Es decir, si la tasa de descuento es alta, la preferencia por el consumo presente también lo es y la trayectoria de asignación intertemporal presenta altos niveles de consumo y bajos niveles de stock, favoreciendo la sobreexplotación del recurso. Por otro lado, si la sensibilidad del planificador a la *presión social* es alta, y/o la sensibilidad de la acción colectiva a las consecuencias negativas del consumo es alta, la trayectoria de asignación intertemporal presentará menores niveles de consumo y más altos niveles de stock, favoreciendo la conservación del recurso.

3. Influencia social y sostenibilidad: un caso particular

En este epígrafe realizamos el mismo análisis hecho en el apartado anterior pero concretando las expresiones de la función de *presión social* y de utilidad. Buscamos profundizar en el significado económico de las condiciones que caracterizan la existencia de sobreexplotación. Asimismo, prestaremos especial atención a los efectos de la *presión social* sobre la dinámica de la senda estable.

3.1. *El modelo particular*

En este caso la función de crecimiento natural del recurso $r\,(s_t)$ no cambia, siendo estrictamente cóncava, continua y doblemente diferenciable. En ella $\overline{s}$ es el nivel de saturación o máxima capacidad de carga del recurso, $(\hat{s})$ el stock definido por $r'(\hat{s}) = \theta$ y $s_{\max}$ el correspondiente al máximo rendimiento sostenible (MSY). Además, para completar el modelo definimos las siguientes funciones particulares:

Función de *presión social*

$$\alpha\,(s_t, c_t) = -\gamma s_t + \beta c_t + \mathrm{A}, \text{ con } \beta, \gamma > 0, A \geq \gamma \overline{s}$$

Nótese que los parámetros β y γ recogen la sensibilidad de los sectores sociales a cambios en el consumo y en el stock del recurso, respectivamente. La función $\alpha\,(s_t, c_t)$ de *presión social* es mayor cuanto mayor es el consumo o menor es el stock.

Función de utilidad

$$u\,(\alpha, s_t, c_t) = -\alpha + \ln s_t + \ln c_t$$

Incorporando ambas funciones, la función de utilidad tras asumir la *presión social*, será:

$$u\,(\alpha, s_t, c_t) = \gamma s_t - \beta c_t - A + \ln s_t + \ln c_t$$

Puede comprobarse que $\alpha\,(s_t, c_t)$ y $u\,(\alpha, s_t, c_t)$ cumplen todas las condiciones exigidas a estas funciones en la sección 2.1. Además asumiremos $U_{c_t} = -\beta + \dfrac{1}{c_t} > 0$, lo que supone que $c_t \in [0,1/\beta]$.

El Hamiltoniano se corresponde, en este caso, con la siguiente expresión:

$$\mathrm{H} = [\gamma s_c - \beta c_t - A + \ln s_t + \ln c_t]e^{-\theta_t} + \lambda_t\,[r(s_t) - c_t]$$

Por aplicación directa de la proposición 1, las ecuaciones que caracterizan la solución estacionaria son:

$$r\,(s^*) = c^* \qquad [6]$$

$$\frac{\gamma + \frac{1}{s^*}}{-\beta + \frac{1}{c^*}} = \theta - r'(s^*) \qquad [7]$$

Al igual que en el modelo general, como $-\beta + \dfrac{1}{c}$ el stock del recurso del estado estacionario será mayor que $\hat{s}$.

3.2. *Estado estacionario y presión social*

De manera equivalente a lo definido en la sección 2.3, diremos que en una economía la *presión social* con $\alpha^1 = -\gamma^1 s_t + \beta^1 c_t + A$ es mayor que con $\alpha^2 = -\gamma^2 s_t + \beta^2 c_t + A$, si se da alguna de las tres condiciones siguientes:

1) $\gamma^1 \geq \gamma^2$
2) $\beta^1 \geq \beta^2$
3) $\gamma^1 > \gamma^2$ ó $\beta^1 \geq \beta^2$

Podemos decir, por tanto, que hay mayor *presión social* en la economía cuando aumenta la sensibilidad de la acción colectiva ante disminuciones en el nivel de stock o aumentos en el nivel de consumo.

Como estamos trabajando con funciones particulares, por aplicación directa de la proposición 2 se cumple que:

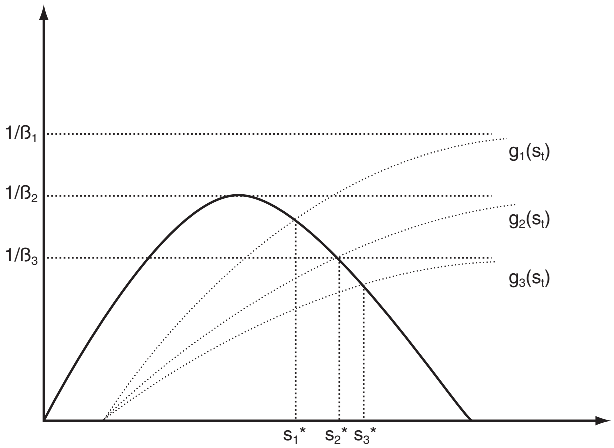
Proposición 4. *Bajo las condiciones establecidas, cualquier solución estacionaria del modelo anterior tiene un consumo c* inferior a* $\frac{1}{\beta}$, *un stock de recurso s* mayor que* $\hat{s}$, *y se situará tanto más a la derecha del máximo rendimiento sostenible cuanto mayores sean los valores de los parámetros* β *ó* γ.

Esta proposición es aplicable al caso en que $\beta = \gamma = A = 0$, que se correspondería con un modelo sin *presión social* (ver, por ejemplo, Beltrati *et al*., 1998) definido para las funciones particulares anteriores. Ese modelo no tendría la cota $\frac{1}{\beta}$, en el nivel estacionario del consumo, el stock estacionario del recurso seguiría siendo menor que $\hat{s}$, y tendría los menores niveles estacionarios de stock (más a la izquierda de $s_{\max}$), al ser el modelo con *presión social* nula.

En la siguiente figura hemos ilustrado la solución estacionaria para tres niveles distintos de sensibilidad de la acción colectiva al nivel de stock de recurso, lo que se refleja en valores de $\frac{1}{\beta}$, diferenciados ($\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$). Como se aprecia en la figura, cuanto mayor es la sensibilidad de la acción colectiva, mayor es el nivel de stock de la solución estacionaria ($s_1^* < s_2^* < s_3^*$).

FIGURA 4

Solución estacionaria para tres niveles de sensibilidad social ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$)



3.3. Sobreexplotación y presión social

La condición de sobreexplotación ya se obtuvo en la proposición 3. Su concreción para nuestro caso es la siguiente:

$$\frac{1}{r\,(s_{\max})} - \beta > \frac{1}{\theta\, s_{\max}} + \frac{\gamma}{\theta}$$

Se aprecia claramente la influencia de la *presión social* a través de β y γ. Si consideramos el modelo sin *presión social* ($\beta = \gamma = A = 0$) la expresión anterior se convierte en:

$$\frac{1}{r\,(s_{\max})} > \frac{1}{\theta\, s_{\max}} + \frac{\gamma}{\theta}$$

que depende únicamente del parámetro θ de descuento temporal.

Teniendo en cuenta ambas expresiones podemos establecer la siguiente proposición:

Proposición 5: *La condición necesaria y suficiente para que exista sobreexplotación es*

$$\frac{1}{r\,(s_{\max})} - \beta > \frac{1}{\theta\, s_{\max}} + \frac{\gamma}{\theta}$$

que depende siempre de la tasa de descuento y de los parámetros β y γ, que miden la presión social. En consecuencia,

- *Si* $\frac{1}{r\,(s_{\max})} \leq \beta + \frac{\gamma}{\theta}$ *no hay sobreexplotación, cualesquiera que sean γ ó θ.*
- *Si* $\frac{1}{r\,(s_{\max})} \leq \beta$ *y θ tiene un valor suficientemente alto (manteniéndose constantes β y γ), la desigualdad se cumple y hay sobreexplotación.*
- *Si β = γ = A = 0 (presión nula), la sobreexplotación depende únicamente de θ, existiendo únicamente si* $\theta > \frac{r\,(s_{\max})}{s_{\max}}$.

Este resultado no sólo nos confirma la existencia de una relación directa y positiva entre la sensibilidad de la acción colectiva y las posiciones conservacionistas en la planificación, sino que nos prueba que cuanto mayor sea esa sensibilidad (mayor es β ó γ) más conservacionista es el estado estacionario resultante. Un valor grande de *β,* que reflejaría una alta sensibilidad ante los efectos negativos del consumo, puede incluso asegurar la no existencia de sobreexplotación, cualquiera que sea la percepción del futuro a través de la tasa de descuento. Por el contrario, si no hay *presión social*, el cuarto punto nos asegura que la sobreexplotación siempre es posible, basta que nuestro descuento temporal sea suficientemente alto.

3.4. *Trayectoria estable y presión social*

Veamos a continuación como la existencia de *presión social* no solo altera el estado estacionario y la condición de sobreexplotación, sino que la trayectoria temporal asociada con éste presenta en todo punto mayores niveles de stock del recurso, revelando constantemente el mayor carácter conservacionista de la economía. Vamos a comparar dos estados de *presión* caracterizados por $\alpha^1 = -\gamma^1\, s_t + \beta^1\, c_t + A$ y $\alpha^2 = -\gamma^2\, s_t + \beta^2\, c_t + A$, siendo el primero el que supone una mayor *presión*.

En nuestro modelo, las ecuaciones dinámicas obtenidas de las condiciones necesarias y que nos llevaban a [6] y [7] eran[12]:

[12] Las ecuaciones similares si $\beta = \gamma = A = 0$ son:

$$\dot{s}_t = r(s_t) - c_t$$

$$\dot{c}_t = -(c_t)^2 \left[\frac{1}{c_t} (\theta - r'(s_t) - \frac{1}{s_t} \right]$$

$$\dot{s}_t = r\,(s_t) - c_t \qquad [8]$$

$$\dot{c}_t = -(c_t)^2\left[\frac{1-\beta c_t}{c_t}\,(\theta - r'(s_t)) - \gamma - \frac{1}{s_t}\right] \qquad [9]$$

Notemos que la primera ecuación no depende directamente de β ni de γ, luego si estamos en un mismo punto (s_t, c_t), s_t tendrá el mismo valor cualquiera que sean los valores de dichos parámetros. Además, si restamos las ecuaciones de los dos casos a comparar, obtenemos que para un mismo punto (s_t, c_t) :

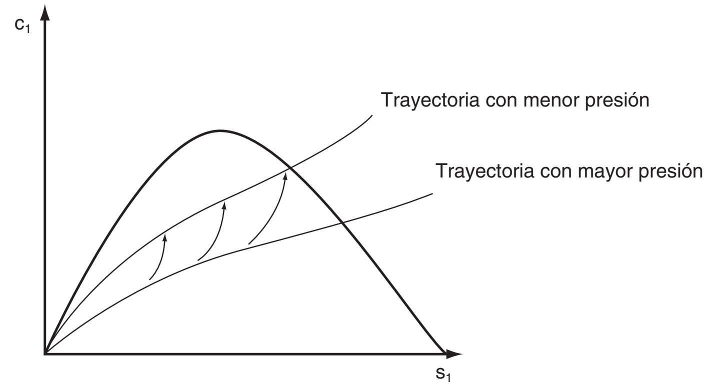
$$\dot{c}_t^1 - \dot{c}_t^2 = [(\beta^1 - \beta^2)\,(\theta - r'(s_t)) + (\gamma^1 - \gamma^2)]\,(c_t)^2 > 0,\ \forall\ c_t > 0 \qquad [10]$$

esto es, en un punto dado con consumo positivo, la velocidad de crecimiento del consumo es mayor cuanto mayor sea la *presión*.

Con la expresión anterior podemos ver que la trayectoria estable con una *presión social* mayor α^1 presenta siempre menores niveles de consumo. Sabemos que, para todo (s_t, c_t) de la trayectoria estable del caso con α^2 el consumo del caso con mayor *presión* crece más rápidamente porque $\dot{c}_t^1 - \dot{c}_t^2 > 0$, $\forall\ c_t > 0$. Además, $\dot{s}_t$ es el mismo para cualquier nivel de *presión social*. En consecuencia, las trayectorias del caso con más *presión* cortan la trayectoria estable del caso con menos *presión* de abajo hacia arriba. Si esto lo unimos al hecho de que el estado estacionario relativo al nivel de presión α^2 tiene menor stock que el estado estacionario relativo al nivel de presión α^1, es inmediato, que la trayectoria estable del caso con más *presión* está situada por debajo de la trayectoria estable con menos *presión*, presentando, por tanto, para cualquier nivel de stock un nivel inferior de consumo. Esto puede verse gráficamente en la figura 5. Lo afirmado sigue cumpliéndose si consideramos el caso de *presión social* nula, esto es $\beta = \gamma = A = 0$. Este último presentaría en su senda estable niveles de consumo superiores a los que tendría en caso de considerar *presión social* positiva.

FIGURA 5

Posiciones relativas de dos trayectorias con diferente presión



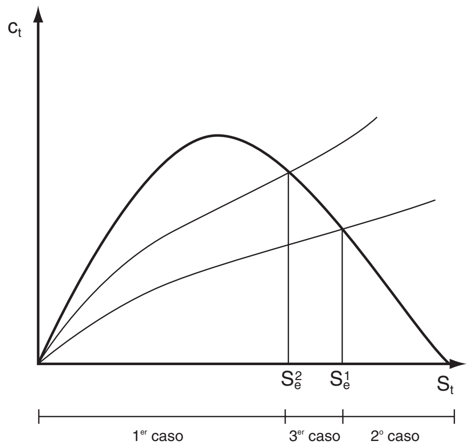
Con estas últimas conclusiones y apoyándonos en [10] podemos también ver que la tendencia conservacionista, asociada con mayores niveles de *presión social*, también se manifiesta en un proceso de crecimiento (reducción) más (menos) rápido de los stocks a lo largo de las sendas estables. Ello supone, que si se parte de condiciones de stock similares, el stock de la senda estable para un mayor nivel de *presión social* será siempre superior, esto es, más conservacionista.

Comparemos las sendas estables del modelo para dos niveles distintos de *presión social*. Supongamos un mismo s_t inicial, s_{in}. Como puede verse en la figura 6 tenemos tres casos: las trayectorias estables son en s_{in} crecientes para ambos niveles de presión, decrecientes en ambos o creciente en el caso de α^1 y decreciente en el de α^2, que podemos caracterizar por:

$$s_{in} \in (0, s_e^2) \text{ en el primer caso}$$
$$s_{in} \in (s_e^1, \infty) \text{ en el segundo caso}$$
$$s_{in} \in (s_e^2, s_e^1) \text{ en el segundo caso}$$

FIGURA 6

Casos posibles según el s_{in}



Veamos el primer caso. Como $\dot{s}_t = r\ (s_t) - c_t > 0$ y $c_t^2 > c_t^1$, $\forall\ s \in (0, s_e^2)$, podemos asegurar que $\dot{s}_t^1 > \dot{s}_t^2 > 0$, lo que significa que para un mayor nivel de *presión social* α^1 se alcanza el nivel de stock s_e^2 antes que en el caso de menor presión social α^2 presentando, por tanto, en todo momento, salvo el inicial, un nivel de stock más alto.

En el segundo caso, aunque $\dot{s}_t = r\ (s_t) - c_t < 0$, como $c_t^2 > c_t^1$, tendremos $0 > \dot{s}_t^1 > \dot{s}_t^2$. Ello supone que el stock de la trayectoria estable correspondiente al nivel de *presión social* α^1 decrece más lentamente y que, como parten del mismo s_{in}, la trayectoria estable correspondiente al nivel de *presión social* α^2 alcanzará antes el nivel s_e^1. Lo que significa que, salvo en el momento inicial, el caso en el que consideramos menor *presión* tendrá un stock de recurso menor.

En el tercer caso también $\dot{s}_t = r(s_t) - c_t$ y c_t^2 y c_t^1, pero $\dot{s}_t^1 > \dot{s}_t^2$. Luego para un nivel de *presión social* menor se reduce el stock en la senda estable tendiendo a s_e^2 mientras que para un mayor nivel de *presión* se incrementa acercándose a s_e^1. Por tanto, cuanto mayor es la *presión social*, mayor es el nivel de stock.

Las gráficas 7 y 8 muestran una representación de estas evoluciones. En trazos discontinuos se ha dibujado la trayectoria estable para un nivel de *presión* α^2 y en línea continua está representada la trayectoria correspondiente a un nivel de *presión* α^1.

FIGURA 7

Caso 1 - Ambas trayectorias estables crecientes

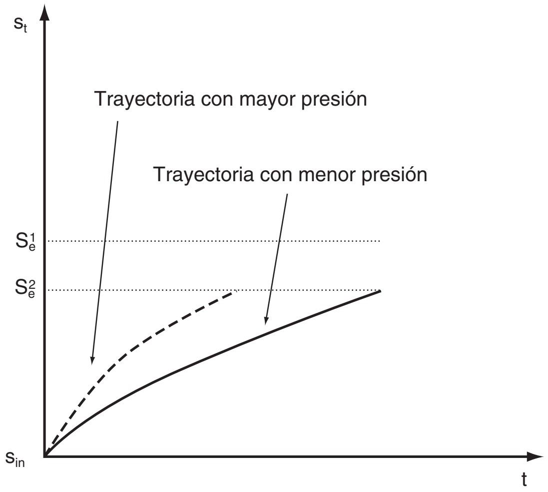


FIGURA 8

Caso 2 - Ambas trayectorias estables decrecientes

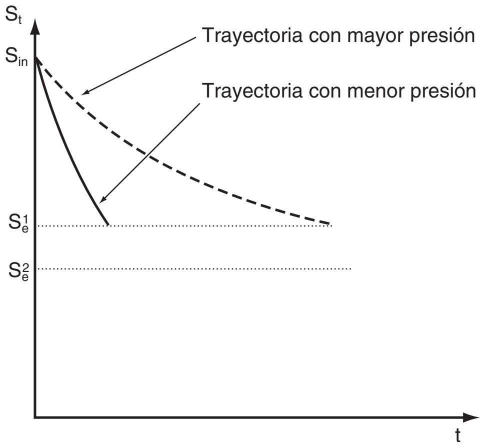
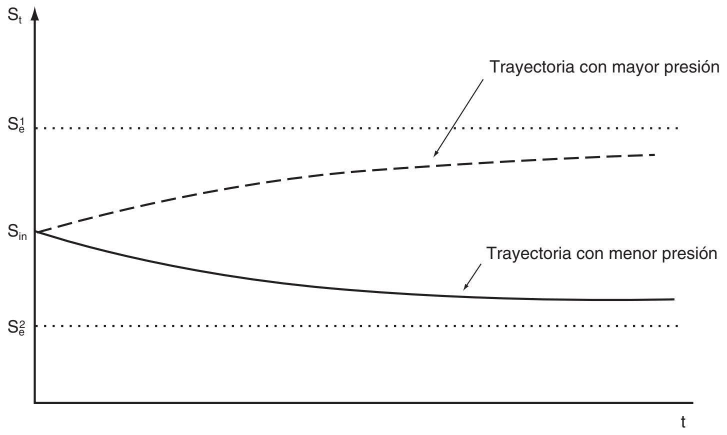


FIGURA 9

Caso 3 - Una trayectoria estable es creciente y otra decreciente



Podemos resumir todo lo anterior diciendo que cuanto más intensa es la acción colectiva, mayor es la *presión social,* mayor es la concienciación del consumidor y, por tanto, más conservacionista es la política del planificador. Lo que redunda en estados estacionarios con un mayor nivel de stock del recurso y trayectorias temporales que ofrecen mayores tasas de crecimiento del stock y menores consumos. Todo ello implica que la posibilidad de sobreexplotación se reduzca.

4. Comentario final

Los resultados obtenidos en este artículo muestran como la introducción de una función de *presión social* en una función de utilidad, que contiene como argumentos el stock y el consumo del recurso, altera significamente la forma en que se alcanza el estado estacionario. En concreto, cuanto mayor es la *presión social* más conservacionista es el estado estacionario, en términos del stock, y la trayectoria intertemporal de asignación presenta menores niveles de consumo (para un stock dado) y mayor crecimiento de los stocks. Todo ello deriva en un menor riesgo de sobreexplotación del recurso.

La interpretación de este resultado descansa sobre el siguiente argumento: Si la extracción de un determinado recurso natural está generando algún tipo de consecuencia negativa (desaparición de especies, por ejemplo), ésta, es percibida primeramente por ciertos sectores sociales. Estos sectores deciden organizarse y generar algún tipo de acción colectiva para informar a los consumidores. Por ello, tras las protestas sociales (que son lo que el consumidor percibe), los consumidores tienen una mayor consciencia de las consecuencias ambientales del consumo. Lo que les lleva a modificar sus preferencias permitiendo que el stock del recurso aumente y el riesgo de sobreexplotación se reduzca.

Por tanto, la existencia de determinados grupos sociales puede ser reinterpretada como un mecanismo de transmisión de información desde la sociedad civil hacia los decisores políticos y así lo asumimos en el trabajo. Esta transmisión se concreta en el cambio de la función de utilidad del planificador, que recoge con éste el cambio en las preferencias de los agentes. Esta última idea se aleja del tratamiento que la literatura tradicional ha dado a la acción colectiva, que generalmente ha considerado a los grupos de presión como buscadores de rentas (Olson, 1965), pero conecta con otros autores. Por ejemplo, Dahl (1989) sostiene que la participación de los ciudadanos en la toma de decisiones políticas permite que la información sea recopilada.

El modelo no nos permite abordar de una manera global el proceso de difusión de la información ambiental por parte de los grupos sociales, pero ilustra el hecho, de que el conocimiento y difusión de las consecuencias ambientales de una determinada actividad extractiva puede jugar un papel crucial en la reconducción de la senda de explotación del recurso, llevándola hacia niveles compatibles con su propia dinámica de regeneración.

El modelo en su estado actual sugiere diversas líneas de avance. Así, una posible extensión del modelo consistiría en introducir un sector productor. Este nuevo modelo presentaría la riqueza adicional de que aparecerían trade-offs interesantes entre consumo-inversión y extracción del recurso-stock del mismo. Otra posible extensión sería considerar incertidumbre en la toma de decisiones del planificador y en las funciones de presión social, viendo como influye en el estado estacionario, en la posibilidad de sobreexplotación y en los procesos de regeneración del recurso.

5. Bibliografía

Aidt, T.S. (1998). «Political internalization of economic externalities and environmental policy». *Journal of Public Economics,* 69:1-16.

Andreoni, J. (1988). «Privately Provided Public Goods in a Large Economy: The Limits of Altruism». *Journal of Public Economics,* 35:57-73.

Andreoni, J. (1990). Impure Altruism and donation to public goods: A theory of warm-glow giving. *Economic Journal,* 100:464-477.

Beltratti, A., Chichilnisky, G. y Heal, G.M. (1993). «Sustainable Growth and the Green Golden Rule. Goldin, I y Winters, L.A. (eds.)». *Approaches to Sustainable Economic Development*. Cambridge University Press.

Beltratti, A., Chichilnisky, G., y Heal, G.M. (1995). «The Green Golden Rule». *Economic Letters,* 49:175-179.

Beltratti, A ., Chichilnisky, G. y Heal, G.M. (1998). «Sustainable Use of Renewable Resources. Graciela Chichilnisky, Geoffrey Heal & Alessandro Vercelli (eds.)». *Sustainability: Dynamics and Uncertainty.* Kluwer Academic Publishers.

Berck, P. (1981). «Optimal Management of Renewable Resources with Growing Demand and Stock Externalities». *Journal of Environmental Economics and Management,* 8:105-117.

Bergstrom, T.C. (1995). «On the evolution of altruistic ethical rules for siblings». *American Economic Review,* 85:58-81.

Brown, L.R. (2001). *Ecoeconomy*. Norton.

Clark, C.W. (1973). «The Economics of Overexplotation». *Science,* 181:630-34.

Clark, C.W. (1990). *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*. Willey-Interscience.

Conconi, P. (2003). «Green lobbies and transboundary pollution in large open economies». *Journal of International Economics,* 59:399-422.

Conrad, K. (2005). «Price Competition and Product Differentiation When Consumers Care for the Environment». *Environmental and Resource Economics,* 31:1-19.

Dahl, R. (1989). *Democracy and its Critics*. Yale University Press.

Eriksson, C. (2004). «Can green consumerism replace environmental regulation? A differentiated products example». *Resource and Energy Economics,* 26:281-293.

Fredriksson, P. G. (1997). «The political economy of pollution taxes in a small open economy». *Journal of Environmental Economics and Management*, 33:44-58.

Gordon, H.S. (1954). «The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery». *Journal of Political Economy,* 62:124-42.

Hayek, F. (1945). «The Use of knowledge in Society». *American Economic Review,* 35:519-530.

Hayek, F. (1948). *Individualisim and economic Order.* Gateway (eds). Blomington.

Heal, G. (1998). *Valuing the Future. Economic Theory and Sustainability*. Columbia Univerity Press.

Heal, G. (2001). Optimality or Sustainability. Eleventh Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists Southampton, June 28th-30th. http://www.soton.ac.uk/~eaere/conf2001/conf2001.html.

Hillman, A. y Ursprung, H. (1992). «The influence of environmental concerns on the political determintion of international trade policy». Blackhurst, R., Anderson, K. (eds.). *The Greening of World Trade Issues*. Harvester Wheatcheaf.

Hillman, A. y Ursprung, H. (1994). «Environmental protection and international trade policy». Carraro, C. (eds.). *The International Dimension of Environmental Policy*. Kluwer.

Johansson, P.O. (1990). «Valuing environmental damage». *Oxford Review of Economic Policy,* 6:34-50.

Krautkraemer, J.A. (1985). «Optimal Growth Resource Amenities and the Preservation of Natural Environments». *Review of Economic Studies,* 52:153-170.

Lafforgue, G. (2005). «Uncertainty and Amenity Values in Renewable Resource Economics». *Environmental and Resource Economics,* 31:369-383.

Olson, M. (1965). *The Logic of Collective Action*. Cambridge, Mass. Harvard University Press.

O'Rourke, D. (2004). «Market Movements: Nongovernmental Organization Strategies to Influence Global Production and Consumption». *Journal of Industrial Ecology,* 9:115-128.

Popp, D. (2001). «Altruism and the demand for environmental quality». *Land Economics,* 77:339-349.

Schaefer, M.B. (1954). «Some Aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of the Commercial Marine Fisheries». *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin,* 1:25-56.

Schaefer, M. B. (1957). «Some Considerations of Population Dynamics and Economics in Relation to the Management of Marine Fisheries». *Journal of the Fisheries Research Board of Canada,* 14:669-81.

Stigler, G.J. y Becker, G.S. (1977). «De Gustibus Non Est Disputandum». *American Economic Review,* 67(2):76-90.

Stiglitz, J. (1994). *Whither Socialism?* Cambridge Mass. MIT Press.

Todd, E. y Ritchie, E. (2000). «Environmental non-governmental organizations and the common fisheries policy». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems,* 10:141-149.

Takayama, A. (1994). *Analytical methods in Economics*. Harvester Wheatsheaf.

Viladrich, M. (2004). «Las principales aportaciones a la teoría de la regulación medioambiental. Los últimos 40 años». *Economía agraria y recursos naturales,* 4(8):41-62.

Wapner, P. (1995). *Environmental Activism and World Civic Politics*. Suny.

Wirl, F. (1999). «Complex, dynamic environmental policies». *Resource and Energy Economics,* 21:19-41

Wirl, F. (2004). «Thresholds in concave renewable resource models». *Ecological Economics*, 48:259-267.

6. Anexo

6.1. *Condiciones Suficientes*

Dado el siguiente problema de control óptimo:

$$\begin{aligned} &Max\ J = \int_0^\infty f_0[x(t), u(t), t]\, dt, \\ \text{sujeto a}\ \ &\dot{x}_i(t) = f_i[x(t), u(t), t], i = 1, 2, ..., n \\ &u_k(t) \geq 0, k = 1, 2, ..., r \\ &x(0) = x^0 \end{aligned}$$

las condiciones necesarias del máximo de Pontryagin son suficientes si f_0 $[x, u, t,]$ y f_i $[x, u, t,]$, $i = 1, 2, ..., n$ son todas ellas cóncavas en x y u. Además, si f_0 $[x, u, t,]$ es estrictamente cóncava, la trayectoria óptima es única. Ver Takayama, 1994, páginas 493 y siguientes.

En nuestro caso f_0 es $U\ (s, c)$ y la única f_i es $r(s) - c$, comprobemos que ambas funciones son cóncavas en s y c. La hessiana de U es

$$\begin{pmatrix} U_{ss} & U_{sc} \\ U_{cs} & U_{cc} \end{pmatrix}$$

siendo, como se ve en la nota 6, $U_{ss} < 0$ y $U_{cc} < 0$. Por tanto, si $U_{ss}\ U_{cc} - U^2_{sc} \geq 0$, la forma cuadrática asociada a la hessiana será definida negativa o semidefinida negativa y la función $U\ (c, s)$ será cóncava. Más aún, si $U_{ss}\ U_{cc} - U^2_{sc} \geq 0$, será estrictamente cóncava. Por otra parte, para $f = r\ (s) - c$, tenemos

$$\begin{pmatrix} f_{ss} & f_{sc} \\ f_{cs} & f_{cc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{ss} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

luego la forma cuadrática es semidefinida negativa porque $r_{ss} < 0$ y la función $f\ (s, c)$ es cóncava.