

V Reunión de Economía Mundial

La tragedia de los comunes: estudio mediante un modelo de simulación

M^a José Aracil

Federico Basañez

Universidad de Sevilla

aracil@us.es basanez@us.es

Tfno.: 954554477; Fax: 954557629

Resumen

El objetivo de este trabajo es aportar una vía adicional y complementaria de entender, analizar e interpretar el fenómeno de “la tragedia de los comunes”, formulado inicialmente por Garrett Hardin (1968). En primer lugar se presenta dicho fenómeno ofreciendo distintas perspectivas desde las que éste se ha interpretado. A continuación se propone un enfoque alternativo consistente en la elaboración de un modelo genérico, utilizando un lenguaje matemático convencional, descriptivo del comportamiento de las principales magnitudes implicadas en la evolución de los recursos de propiedad común. El análisis del modelo se centra, en especial, en identificar, mediante el análisis de sensibilidad, cómo se altera el comportamiento de las distintas variables como consecuencia de la inclusión de costes y de la modificación de determinados parámetros. Así se obtienen conclusiones relevantes sobre éste, discriminando entre modos de comportamiento cualitativamente diferentes, como crecimiento y colapso, esenciales para diferenciar las situaciones en las que los recursos de propiedad común sobrevivirían de las que no. Por último, se identifican las condiciones de equilibrio del modelo, constatándose el cambio cualitativo en su comportamiento.

Tragedia de los comunes y dilemas sociales

En 1968, Garrett Hardin, partiendo de la dinámica de poblaciones, recuperó y amplió el caso, descrito originalmente por William F. Lloyd, de la inevitable ruina de un pasto comunal por ganaderos guiados por su propio interés¹. Antes, H. S. Gordon había abordado, desde la teoría económica de los derechos de propiedad, el caso de la esquilmación de pesquerías "sin dueño" o "de todos"². Y, antes aún, Ludwig von Mises había analizado formalmente el problema de las externalidades asociadas a la explotación de un bien considerado universalmente *res*

¹ G. Hardin, 1968.

² H. S. Gordon, 1954.

*nullius*³. En particular, la obra de Hardin consagró la expresión "tragedia de los comunes" para referirse a la sobreexplotación y final destrucción de un recurso compartido⁴ por agentes económicamente racionales. Recientemente, el propio Hardin ha actualizado sucintamente su exposición del asunto⁵.

El problema surge, en la formulación tradicional de la "tragedia", del hecho de que los costes de utilizar el recurso se distribuyen de forma diferente a las ganancias: al utilizar un recurso común, cada agente internaliza plenamente los beneficios (los beneficios se "privatizan") pero no soporta la totalidad de los costes sino sólo una fracción, pues éstos se reparten entre todos los agentes, de forma que, para cada uno, una parte de los costes se "externaliza" (los costes se "socializan"). La utilidad individual presente derivada de consumir más recurso es positiva, lo que conduce, en el ejemplo de Hardin, a que cada ganadero, actuando "racionalmente", añada otra cabeza de ganado, y otra, y otra más. En su ejercicio maximizador, el ganadero se apropiaría valor y reduciría en idéntica medida el apropiable por los demás. Esa misma lógica, con otro enfoque, induce a cada ganadero a reaccionar a cada adición añadiendo, por su parte, otra cabeza, para compensar la pérdida soportada como consecuencia de la adición original. El resultado, inevitable en virtud de los supuestos, es la devastación del común.

Los efectos sistémicos "perversos" son patentes: el ganadero con "conciencia ecológica", que optase por reducir su beneficio potencial al incrementarse sus costes, estaría en desventaja frente a competidores "sin remordimientos". Si A (empresario ecologista) no sobreexplota, lo hará B (empresario rapiñador) y, de hecho, B acabará expulsando a A. Su expulsión conlleva la extinción de una racionalidad conservacionista que, si se generalizase, conduciría a una solución distinta de la esquilmadora dominante. En este contexto tampoco existe incentivo para economizar o hacer un uso más eficiente del recurso. El resultado es la degradación y extinción del recurso de que se trate (pesquerías, ballenas, búfalos, aguas subterráneas, bosque tropical, aire limpio, capa de ozono, biodiversidad, etc.).

³ L. von Mises, 1940.

⁴ En general, cuando se habla de un bien de "propiedad comunal", suele querer decirse "de nadie" (*res nullius*), es decir, que no hay derechos de propiedad definidos sobre el bien ni mecanismos para definirlos. A veces se confunden, al margen de la terminología específica empleada, los conceptos de "bien comunal" (en sentido jurídico: bien en régimen de propiedad colectiva), "bien de dominio público" (bien de propiedad pública) y "bien público" (en sentido económico: características más o menos acentuadas de uso no excluyente y consumo no rival, al margen de que su provisión/financiación sea pública o privada). Asimismo, hay que distinguir el problema de los bienes públicos de otros asociados a costes de transacción, externalidades negativas, etc., que puedan presentarse (también) en el caso de bienes privados, y que pueden tener su origen no tanto en una inadecuada definición de los derechos de propiedad y contratación, cuanto en el deficiente funcionamiento de instituciones, a muy distintos niveles, que impide alcanzar una solución óptima o eficiente en cualquier sentido deseable a través de la negociación, el pacto, la autorregulación, etc., entre las partes implicadas en la "tragedia". Este trabajo gira en torno a los bienes comunales, si bien esto no es impedimento para que se den en ellos características de bienes públicos.

La pauta básica de comportamiento conducente a dicha situación se ha identificado también en campos distintos del bioeconómico y su análisis ha generado una abundante literatura no ya sólo en las ciencias naturales (inabarcable), sino también en las sociales (abuso del régimen de garantía de depósitos bancarios, déficit crónico en presupuestos federales⁶, congestión del tráfico en el casco urbano, etc.). La misma “lógica perversa” que conduce a la destrucción del bien comunal está en el origen de numerosos dilemas sociales en los que la racionalidad individual entra en colisión con la racionalidad colectiva y el resultado final para todos y cada uno es objetivamente peor del que cabría esperar (dilema del prisionero, dilema del comensal, etc.)⁷. Se trata de dilemas sin solución intuitiva (pero que, con todo, a menudo se resuelven en la práctica), asociados con frecuencia a actuaciones tipo polizón (*free-riding*); surgen, por ejemplo, ante asimetrías informativas que incentivan o propician explotar situaciones en las que existe “riesgo moral” (*moral hazard*).

Los dilemas antes mencionados se han abordado desde la teoría de juegos, demostrándose la fatalidad de la “tragedia” al margen de que se trate de agentes cooperativos, no cooperativos o neutrales⁸. Es más, al definirse funcionalmente el comportamiento de los agentes, idénticos dilemas y “tragedia” surgen en sistemas adaptativos con agentes no humanos (sistemas de inteligencia artificial distribuida⁹, sistemas de producción distribuida¹⁰) que pueden analizarse y resolverse a través de “ecosistemas computacionales”¹¹, con algoritmos genéticos y modelos de ecuaciones diferenciales¹².

Este conocimiento teórico y experimental se ha aplicado al diseño de modelos y juegos de la “tragedia de los comunes”, con fines docentes o de aprendizaje.¹³

Causas de la tragedia

La literatura diverge sobre la causa de la “tragedia”. Algunos autores sostienen que su causa está en el régimen jurídico de propiedad del bien o en alguna consecuencia práctica para su

⁵ G. Hardin, 2002

⁶ A. Velasco, 1999 y J.F. Cogan, 2002.

⁷ N.S. Glance y B.A. Huberman, 1994.

⁸ H.V. Muhsam 1973.

⁹ R.M. Turner 1993.

¹⁰ A. Markus y J. Váncza, 1996 y T. Kis, J. Váncza y A. Markus, 1996.

¹¹ T. Hogg, 1995.

¹² N. Arora y S. Sen, 1997.

¹³ El proyecto “Pecunia MUD” de simulación de juegos del programa de investigación sobre sistemas adaptativos de la Universidad de Viena incluye un área especial dedicada a la tragedia de los comunes (JAVA Tragedy of the Commons Game; <http://ai.wu-wien.ac.at/~mitloehn/pecunia>). Ronald Mitchell (Department of

gestión (criterios de gestión) derivada del régimen de propiedad (y que conduce a que el bien, al margen de que fuese de propiedad privada o colectiva, se trate o gestione “como si fuera común”). Otros, sostienen que la causa es otra.

La literatura tradicional ha tendido a centrarse y abundar en el primer caso, al considerar que la causa de la “tragedia” está en la propiedad comunal. El supuesto implícito es que el recurso es de propiedad comunal y que el capital que lo explota es de propiedad privada. La solución “política” al problema incluye dos alternativas:

- a) Privatizar el común, manteniendo la propiedad privada de los factores productivos;
- b) Socializar la explotación del común, utilizando factores productivos públicos.

Es frecuente suponer que privatizar el común es la solución. Asimismo, se piensa que, si no hay privatización, es por dificultades técnicas, y que resolverlas permitirá privatizar todo lo que ahora es de dominio público o *res nullius* (ballenas, aves migratorias, ¡incluso la capa de ozono!) y acabar con la “tragedia”¹⁴. Pero la privatización, que ha funcionado como solución en numerosos casos, no evita en todos la tragedia. La investigación empírica demuestra que el capital privado también puede sobreexplotar y agotar un recurso privado¹⁵. De hecho, ocurre así incluso en casos en los que no existe incentivo para invertir el producto obtenido de la explotación en otra empresa (*killing the goose*)¹⁶.

En cuanto a “socializar la explotación”, esta opción se ha revelado en muchos casos ingenua, en el sentido de poco realista sobre la virtualidad práctica de la gestión pública o burocrático-administrativa (a la luz de décadas de estudios teóricos e investigación empírica en elección pública, estudios comparativos sobre retrocesos/avances en materia medioambiental bajo diferentes regímenes, teoría económica del medio ambiente y ecología de mercado).¹⁷ Desde el otro extremo (el “privatizador”), se presupone en cambio, de modo no menos acético, que la propiedad comunal del recurso o del capital, o su gestión colectiva, han de traducirse necesariamente en desinterés por su conservación. No otro es el sentido, en este contexto, del aserto tradicional: “Lo que es del común es del ningún”.

En este sentido, es habitual sugerir que la causa de la tragedia podría estar en que el recurso se gestionase “como si fuera común”. Pero la tragedia puede sobrevenir en casos en los que el

Political Science, University of Oregon) ha diseñado un juego similar con fines docentes (The Tragedy of the Commons Game; <http://www.uoregon.edu/~rmitchel>).

¹⁴ R. Stroup, 2002.

¹⁵ E. Moxnes, 2000.

¹⁶ D. Fife, 1971.

¹⁷ Randers, quien no obstante matiza que “[...] the democratic market economy is the best system of governance the world has seen”, expresa paradigmáticamente esta “solución”: “Given a benevolent global dictatorship, the transition to sustainability could be made smoothly without much decline in the quality of life.” Véase J. Randers, 2000.

bien ni es comunal ni se gestiona como si lo fuese. Es más: puede surgir, y de hecho surge, en casos de recursos, indistintamente privados o públicos, en los que el objetivo declarado de sus gestores, indistintamente privados o públicos, es evitar la degradación del recurso.¹⁸

Moxnes expone las conclusiones de experimentos en los que se constata que la propiedad comunal o no del bien no afecta a su deficiente gestión y eventual sobreexplotación. En su lugar, constata que la sobreinversión en capital productivo y consiguiente sobreexplotación de los recursos es el efecto de una “sistemática percepción errónea” de niveles y flujos, de confundir problemas estáticos con dinámicos, de no comprender información sobre posibles soluciones y no saber aplicarla al decidir, de no asimilar los resultados de decisiones y políticas, de no percibir bien la importancia del factor temporal (retardos), etc. Lo ejemplifica con la incapacidad para operar con la tasa de crecimiento neto, especialmente relevante en problemas bioeconómicos¹⁹. Por consiguiente, más que asunto de gestión deficiente asociada al régimen de propiedad del recurso o del capital, la deficiencia sería atribuible a los modelos mentales y a una heurística equivocada de los actores que intervienen en el sistema.²⁰

Con frecuencia, la emergencia de dilemas sociales ante situaciones formalmente asimilables a la "tragedia de los comunes" es inducida por incentivos creados o mantenidos en virtud de muy variadas instituciones (no sólo jurídicas y políticas). La eventual emergencia o no de soluciones a la “tragedia” depende de numerosos factores, supuestos y condiciones que entran en la formulación del sistema. Podría ser relevante si el recurso compartido se ha tornado “objetivamente escaso” (por estar cerca el sistema de su *carrying capacity* o capacidad de sustentación) y si existe, o no, percepción subjetiva de escasez. También lo sería el diferente horizonte temporal de referencia de individuos y sociedad política (la tasa de descuento social no coincidiría con las individuales)²¹. O la ausencia de incentivos para internalizar costes o economizar, y para generar y transmitir información (sobre escasez económica, incentivando la preservación de la oportunidad lucrativa) que podrían proporcionar el mercado (procesos de determinación de precios y variaciones de éstos) o administraciones públicas (vía impuestos). O, incluso, el tamaño relativo o el número de agentes, que aparentemente dificulta alcanzar un acuerdo cooperativo a partir de ciertos valores.²²

¹⁸ E. Moxnes, 2000: “Interestingly, these reductions are managed by institutions designed to avoid the commons problem”.

¹⁹ E. Moxnes, 2000.

²⁰ Como nota de interés, Ronald Mitchell ofrece también “A single person game to prepare you for the Tragedy of the Commons game, also known as “Making optimal use of a Private Farm”. This game is NOT a Tragedy of the Commons - it simply shows you that one problem in avoiding overuse of an environmental resource involves simply identifying the carrying capacity of the resource.”

²¹ G. Brennan y J.M. Buchanan, 1985.

²² Yao, X. y Darwen, P., 1994.

Este trabajo no se decanta por una u otra causa. Al tratar de elaborar un modelo arquetípico, se pretende dar cabida a “tantas causas como casos”. No se excluye que en algunos casos la causa formal de la “tragedia de los comunes” pueda estar en el régimen de propiedad o en alguna consecuencia de éste para su gestión. Por lo mismo, tampoco se excluyen otras causas (falta de información, descoordinación, problemas de percepción, etc.).

Críticas al modelo de Hardin

Las críticas al modelo de Hardin han llegado desde diversos frentes. Especialmente destacable es la crítica del modelo de actor racional de la teoría económica tradicional, como optante mecánico que opera sobre funciones sujetas a maximización restringida (*homo economicus*), que está en la base del modelo que describe Hardin. Básicamente, las críticas apuntan a la necesidad de perfilar mejor el modelo metodológico incorporando el reconocimiento de limitaciones en la racionalidad (conocimiento) y en capacidad de razonamiento (emociones). Se trataría de explorar el modelo para situaciones en las que, por ejemplo, el cálculo racional es limitado, el horizonte temporal es cortoplacista y el universo de efectos está restringido. En este contexto, puede existir incapacidad para desarrollar un comportamiento estratégico que conduzca a esquemas pautados de comportamiento (instituciones) como los que, se supone, pueden acabar evitando la “tragedia”.

No se trataría sólo de argumentar la crítica formal al modelo tradicional de actor económico²³. Se trataría, por ejemplo, de perfilar modelos de racionalidad de segunda generación o más realistas, en los que tenga cabida el elemento específicamente humano de libertad y empresarialidad, la capacidad humana de acción y no sólo de reacción²⁴ y la función del capital social²⁵. Se trata de entender la “acción humana” como capaz de “trascender”: de reconocer el contexto y la estructura de incentivos de una situación conducente a situaciones indeseadas (“Individuals cannot act contrary to the incentives of the situation”) y de redefinir las normas (a nivel institucional, e incluso constitucional) de forma que cambien los incentivos en la dirección deseada o se excluyan formalmente determinadas soluciones destructivas²⁶.

²³ D.P. Green y I. Shapiro, 1994, y J. Friedman, 1996.

²⁴ W. Riker, 1984, E. Ostrom, 1998.

²⁵ Ronald S. Smith 2002.

²⁶ Brennan, G. y Buchanan, James M., 1985.

Un modelo de la tragedia de los comunes

En 1974 se elaboró el primer modelo de la “tragedia de los comunes” desde la dinámica de sistemas²⁷, en el que se ofrecía una esquematización de las relaciones implícitas entre producción y bienes comunes conducentes a la devastación de éstos. Las posibles soluciones propuestas, siguiendo a Hardin, son las “políticas” y las “coercitivas”:

- a) Limitar el uso del común;
- b) Hacer pagar por el uso del común (impuestos, internalización de externalidades negativas).²⁸

En ambos casos, la simulación del modelo de Anderson conducía a un estado de equilibrio entre bien comunal y capital.

Nosotros proponemos un modelo alternativo en sentido similar, en tanto que también se trata de un modelo genérico, esto es, sin ajustarse a ningún bien común concreto, pero ofreciendo la descripción completa de las relaciones así como el análisis de sensibilidad de todos sus parámetros. El modelo se ha elaborado en lenguaje matemático convencional, si bien para mostrar sus resultados y conclusiones nos valdremos del análisis gráfico que proporciona el entorno informático Vensim, en el que hemos construido el modelo.

Son frecuentes los modelos de simulación que representan la “tragedia de los comunes” para escenarios concretos (por ejemplo, el caso de la “competencia” entre pescadores por bancos de peces, de cazadores por especies cinegéticas, de agricultores por aguas subterráneas, etc.). Nuestro objetivo, sin embargo, es ofrecer un modelo más genérico, un arquetipo teórico que, en su caso, sería ajustable a diferentes casos concretos. En dicho modelo se observa cómo las relaciones de partida entre los bienes comunes y los factores productivos privados conducen efectivamente al hundimiento del sistema, es decir, a la esquilmación o devastación del común. A continuación se introducen supuestos que podrían conducir a la supervivencia o preservación del sistema.

Nuestro modelo aborda un problema productivo susceptible de modelarse matemáticamente, sin pretender en ningún caso abarcar su efecto sobre el resto de la economía, así como tampoco entrar en la determinación de la tasa de producción máxima sostenible (MSY) en la que se maximizaría el beneficio o la producción.

²⁷ J.M. Anderson, 1974.

²⁸ Por lo demás, Hardin sostenía que el problema era la “fatal libertad para explotar el común” y proponía soluciones “coercitivas” basadas en la renuncia voluntaria o forzosa a la “libertad de explotación”.

Descripción del modelo de simulación de partida

El modelo de partida que proponemos es un modelo de dos niveles, como la mayoría de los modelos que describen estos procesos de devastación. Estos dos niveles, o variables de nivel, son los bienes comunes BCD, cuya evolución se estudia, y los factores productivos privados FPP, que se valen de dichos bienes comunes para producir. El modelo, por tanto, gira en torno a la actividad productiva del sistema económico, considerando que para que la producción se lleve a cabo se requieren bienes cuya propiedad no ha sido definida. Como BCD consideramos cualquier bien común susceptible de devastación por su utilización por agentes económicos, mientras dentro de los factores productivos privados englobamos al conjunto de propietarios de factores que toman individualmente decisiones racionales sobre el mayor o menor uso del bien común, puesto que lo necesitan para su actividad productiva²⁹. En virtud de la relación que se establece entre estos dos niveles, cuanto más FPP haya, mayor uso se hará de los BCD y, según cuál sea la regeneración natural del común, éste se devastará o sobrevivirá.

- Los bienes comunes, BCD: los bienes comunes están definidos por la diferencia entre su flujo de regeneración REG y su flujo de degradación DEG, esto es:

$$\begin{aligned}d\text{BCD}/dt &= \text{REG} - \text{DEG} \\ &= \text{TREG} * \text{BCD} - \text{Min}(\text{EEX}, \text{BCD}) \\ &= \text{TREG} * \text{BCD} - \text{Min}(\text{FPP}_1 * \text{BCFPP}, \text{BCD}) \\ &= \text{TREG} * \text{BCD} - \text{Min}(\text{FPP}_1 * \varphi_1(\text{BCD}) * \text{CC}, \text{BCD})\end{aligned}$$

Como vemos, la regeneración viene determinada en función de una tasa de regeneración, TREG, que supondremos exógena (dependiente de la naturaleza del bien).

²⁹ Podría considerarse el caso de que el bien común se utilizara para actividades consuntivas, en cuyo caso habría que reinterpretar el sentido de algunas de las variables. Por ejemplo, en lugar de factores productivos privados tendríamos agentes consuntivos privados, y en lugar de beneficio en sentido contable tendríamos satisfacción obtenida por el consumo del bien. Evidentemente habría que hacer otros ajustes de más peso pero entendemos que en última instancia el arquetipo elaborado podría ser útil como punto de partida.

La degeneración DEG depende del uso que hagan los factores productivos privados del bien común, a través de lo que denominamos Efecto Explotación, EEX. En este modelo este efecto es determinante en la evolución del bien: según cuál sea la necesidad de bien común por unidad de factor productivo privado, en función de la tasa de regeneración, el bien pervivirá o no.

- Los factores productivos privados, FPP: los factores productivos privados se definen en virtud de la diferencia entre la inversión en creación de factores privados CFP y su depreciación DEP.

$$dFPP/dt = CFP - DEP$$

$$= TDPD * FPP_1 - (TDEP * FPP + USO)$$

$$= (BCD/FPP) * CD * DELAY FIXED (FPP, T_1, 100) - TDEP * FPP + TUSO * FPP$$

La creación de factores privados depende de TDPD, esto es, la tasa de dependencia de los factores privados respecto del bien común, en función de la evolución de FPP en el periodo anterior, FPP_1^{30} , y ponderada por la constante de dependencia CD. Esta constante nos permitirá evaluar la influencia de la dependencia entre FPP y BCD en el funcionamiento del modelo.

Los factores privados disminuyen en función de su uso, a través de la tasa de depreciación y de la constante TUSO, que representa el mayor o menor uso que se le pueda estar dando al factor.

Normalmente, en los modelos que simulan la tragedia de un común no aparecen los costes asociados al uso del mismo puesto que, al tratarse de un bien que no tiene un único dueño cada sujeto que hace uso del bien recibe la totalidad de sus beneficios pero sólo soporta una mínima parte de los costes. De ahí que todos los propietarios de factores productivos privados

³⁰ Para ello nos valemos de la función DELAY FIXED que da a la variable dependiente el valor de la variable independiente retardada T1 periodos.

opten por utilizar unidades adicionales del bien ya que, de no hacerlo, los beneficios repercutirán positivamente sobre el resto de propietarios y no sobre ellos mismos.

Para corregir este comportamiento que está ligado a la devastación del bien común, cabe optar por introducir algún mecanismo que permita a los propietarios de los FPP ser conscientes de la evolución de la escasez relativa del BCD respecto a la situación de partida. Una vía, según se ha señalado en apartados anteriores, sería la privatización del bien. En ese caso el bien dejaría de ser común, por lo que no contemplamos esa vía. Otra sería la privatización del servicio de conservación del mismo, encargándose a agentes privados la puesta en marcha de las medidas pertinentes, de control o punitivas, para evitar su uso más allá de su capacidad de regeneración. También cabe limitar el uso del bien común a través de su coste.

Optando por esta tercera vía hemos ligado BCFPP, las unidades de bien común por unidad de factor productivo privado, a la cantidad de BCD a través de costes ligados al uso. Este trabajo explora el supuesto de que puede ser mejor solución “hacer pagar por el uso del común”, imputando al productor un coste externo o un impuesto que reduce su disposición a explotar el común.³¹

Para ello hemos recurrido a la tabla recogida a través de la función ϕ_1 y representada en la figura 2, que muestra una relación directa entre BCFPP y BCD: cuanto más abundante es el bien, al ser fácil y barata su utilización, se tenderá a utilizar más del mismo (por lo que BCFPP será mayor), frente a los casos en los que por haberse utilizado y gastado más de lo que la tasa de regeneración admite para mantener la cantidad constante, y haberse convertido en consecuencia en un recurso escaso, resultará más costosa la producción por lo que se tratará de hacer menor uso del mismo (siendo BCFPP menor)³².

Un ejemplo de introducción de costes es el establecimiento de un impuesto sobre el uso del recurso, ligado por ejemplo a la cantidad disponible del mismo, que hace que los usuarios del bien perciban su escasez al tiempo que les incentiva a la búsqueda de formas de producción alternativas al encarecer la producción.³³ Por todo ello, BCFPP depende positivamente de la

³¹ En todo caso, el coste de utilizar el recurso compartido aumenta con el número de agentes que lo comparten. Véase Irvine, A.D., (1993).

³² En estos casos, sería lógico pensar que se desarrollaran formas alternativas de producción que permitieran producir lo mismo con menor utilización del recurso.

³³ No se trata tanto de percibir directamente la escasez (puede no haberla “en la frontera del Oeste”), como de percibirla como factor limitante de la producción. Si no existen mecanismos de mercado (oferta/demanda de recurso) para identificar la escasez económica, el impuesto tendría que estar relacionado con la escasez en un hipotético sentido objetivo como “proporción entre lo que hay antes de consumir y lo que hay después, o como proporción sobre el total escasez “ o ratio de recurso utilizado sobre recurso total, para cada momento.

cantidad de bien común disponible. Además hemos introducido una constante de ponderación de los costes, CC, que nos va a permitir estudiar la dependencia del sistema de esta relación.

Hemos recogido la definición de todas las variables involucradas en el modelo, así como los parámetros con sus respectivos valores en la tabla 1 que presentamos a continuación. La primera columna de dicha tabla recoge el nombre que hemos dado a la variable; la segunda columna su significado y, por último, la tercera, la forma en que dicha variable ha sido definida en el modelo.

La figura que sigue muestra el conjunto de relaciones que expresamos en el modelo:

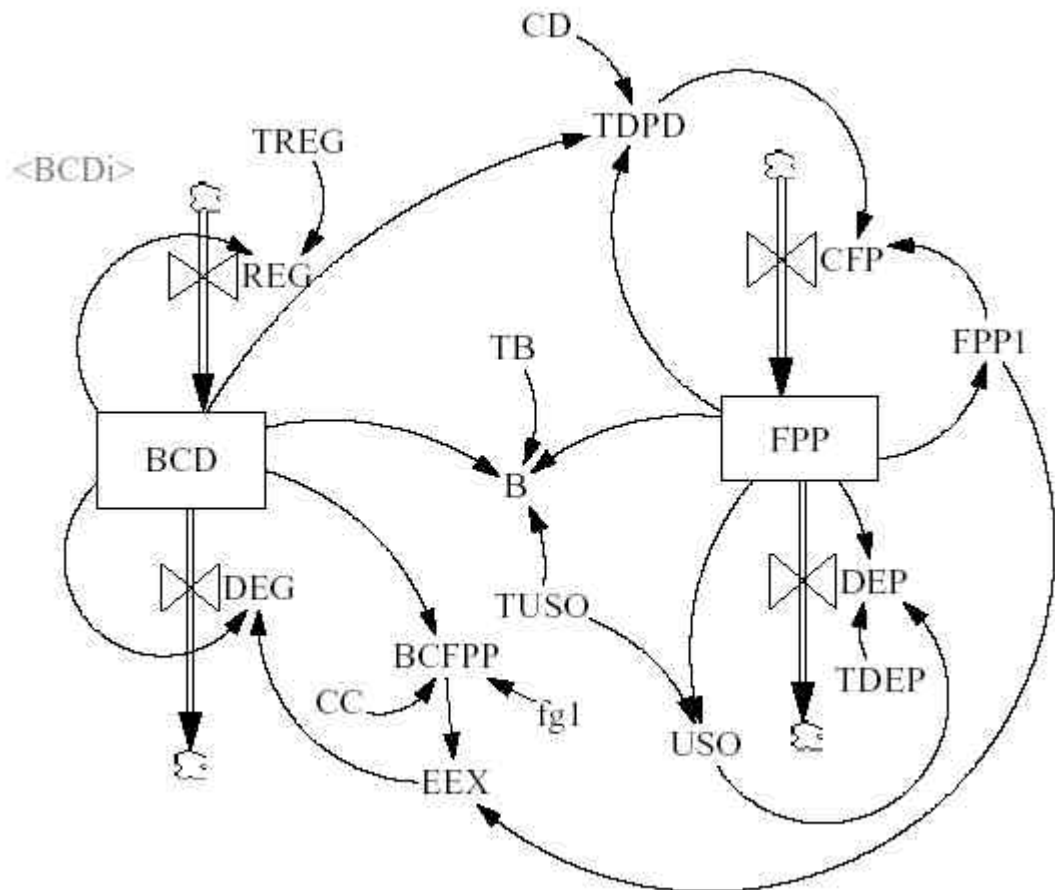


Figura 1. Diagrama de relaciones del modelo.

<i>Variable</i>	<i>Significado económico</i>	<i>Definición</i>
BCFPP	Cantidad de bien común por unidad de factor productivo privado	ϕ_1 (BCD)
DEP	Depreciación de FPP	DEP= TDEP* FPP
FPP ₁	FPP retardado un periodo	DELAY FIXED (FPP,1,100)
REG	Regeneración del bien común	TREG* BCD
BCDi	Bien común disponible inicial	100
BCD	Bien común disponible	INTEG (REG - DEG, BCDi)
FPP	Factores productivos privados	INTEG (CFPP- DEP,100)
TDEP	Tasa de depreciación del capital	0.1
TREG	Tasa de regeneración del bien común	0.3
CFPP	Creación de FPP	TDPD * FPP1
EEX	Efecto de la explotación de FPP sobre BCD	FPP*BCFPP
TDPD	Tasa de dependencia de FPP respecto de BCD	(BCD/FPP) * CC
DEG	Degradación del bien común	DEG = min (EEX, BCD)
CD	Constante de dependencia de FPP respecto de BCD	1
B	Beneficios ³⁴	**
CC	Constante de ponderación de los costes	1

Tabla 1. Variables y parámetros del modelo.

La función $BCFPP = \phi_1$ (BCD) viene definida en función de la tabla representada en la figura 2.

³⁴ Hemos introducido la variable beneficios B, sin que sea en absoluto esencial en el modelo, porque la mayoría de los modelos elaborados para la simulación de la tragedia de un bien común recurren a esta variable como indicador del buen funcionamiento del sistema productivo.

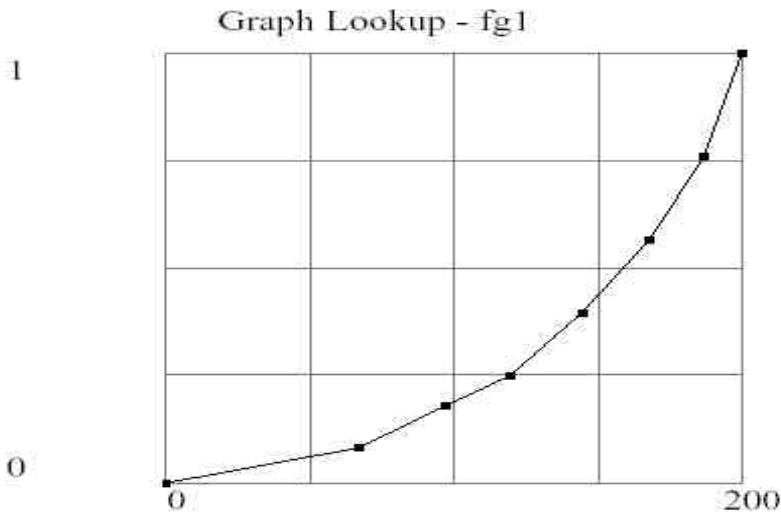


Figura 2: Relación BCD-BCFPP

Inicialmente suponemos que los costes ligados a la explotación del bien común no son tenidos en cuenta por los factores productivos privados puesto que esto es lo que generalmente ocurre en primera instancia, cuando la explotación de un bien común se lleva a cabo por factores productivos privados sin organizar. Para ello, hacemos BCFPP constante e igual a 1. En este caso, efectivamente el resultado es la devastación del común. Tal y como se puede ver en la figura 3, los bienes comunes tienen a desaparecer.

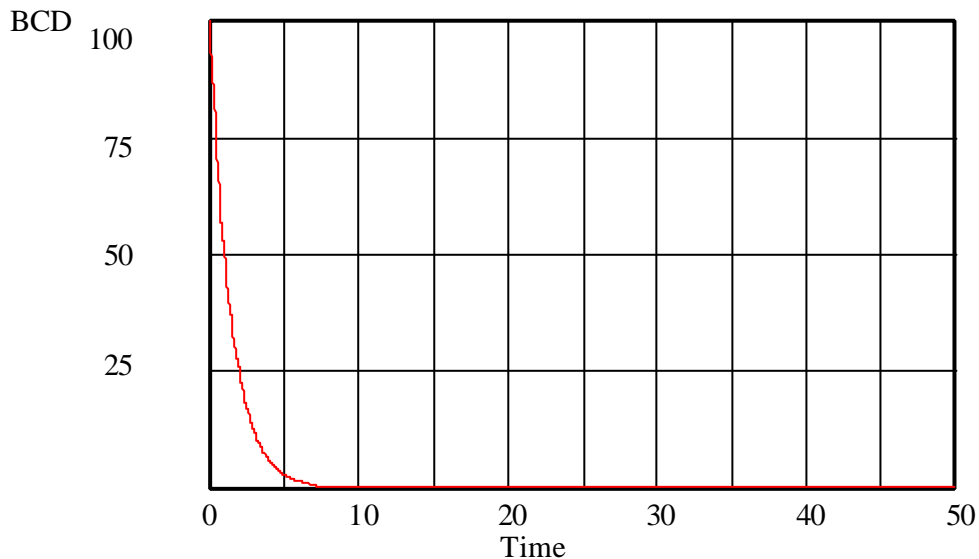


Figura 3. Devastación de BDC en el modelo de partida.

Al mismo tiempo que se devasta el bien común, los factores productivos privados se hunden puesto que la relación entre ambos niveles es de dependencia: los factores productivos hacen

uso del bien común para producir, por lo que sin bien común dejan necesariamente de producir.

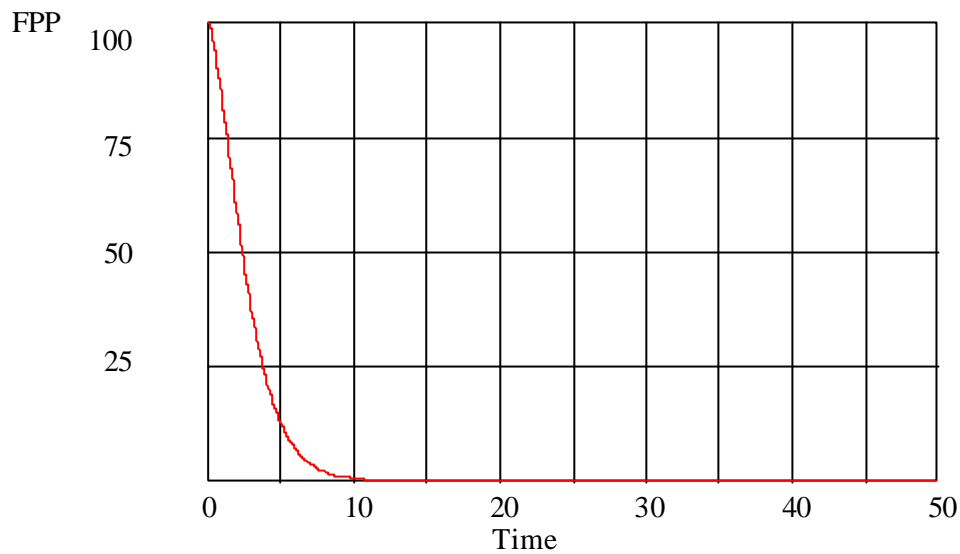


Figura 4. Evolución de FPP en el modelo de partida.

Este hecho tiene su repercusión inmediata en los beneficios de los propietarios de los factores privados de producción, ya que al no tener lugar producción alguna, los beneficios derivados de ella desaparecen³⁵.

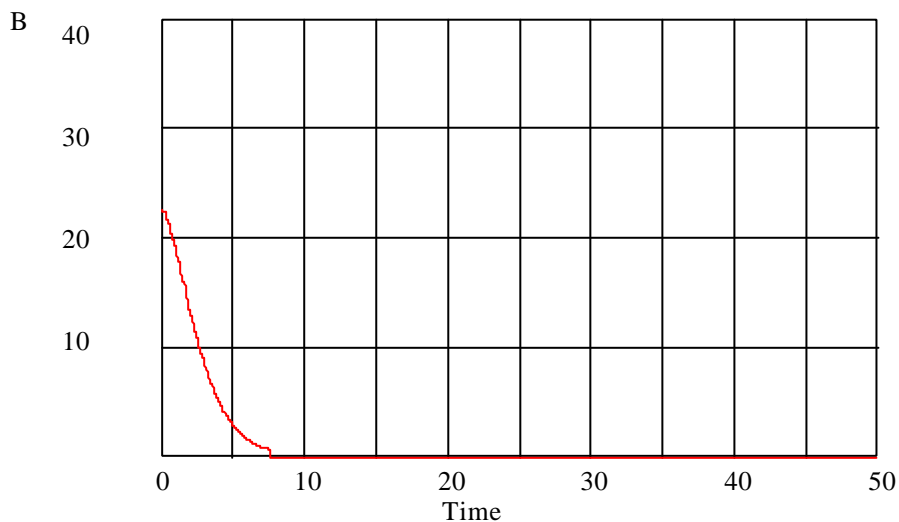


Figura 5. Evolución de B en el modelo de partida.

³⁵ Estamos considerando, como supuesto simplificador, que los beneficios son proporcionales a la cantidad de factores disponibles. Evidentemente son muchos los factores que habría que tener en cuenta para una definición más ajustada de éstos, fundamentalmente los costes y los precios, si bien hemos optado por no incluirlo porque el objeto de estudio son los bienes comunes y los beneficios generados por el sistema productivo.

Hasta aquí simplemente hemos expuesto un caso genérico de tragedia de los comunes que conlleva la destrucción del bien común y el consiguiente hundimiento de la actividad productiva asociada al mismo.

Con el objetivo de introducir cambios en el modelo que permitan la pervivencia del sistema hemos realizado el análisis de sensibilidad del mismo, para identificar a qué parámetros el modelo es más sensible. Hemos realizado análisis univariantes, esto es, un parámetro cada vez.

<i>Parámetro</i>	<i>Rango de variación</i>	<i>Efecto sobre BCD</i>	<i>Efecto sobre FPP</i>	<i>Efecto sobre B</i>	
CD = 1	0.5 a 1.5	NULO	Poco sensible	Poco sensible	
TREG = 0.3	0.05 a 0.6	Sensible cambio tendencia	sin de	Sensible cambio tendencia	sin de
TDEP = 0.1	0.08 a 0.4	NULO	Poco sensible cambio tendencia	sin de	Poco sensible cambio tendencia
TUSO = 0.9	0.1 a 1	NULO	Sensible cambio tendencia	sin de	Sensible cambio tendencia

Tabla 2. Resultados del análisis de sensibilidad del modelo inicial.

En la tabla 2 se recogen los resultados del análisis de sensibilidad. La primera columna recoge el parámetro y su valor inicial, la segunda el rango de variación del parámetro, y las tercera, cuarta y quinta el efecto que la variación del parámetro tiene sobre BCD, FPP y B, respectivamente. Los resultados de la tabla anterior ponen de manifiesto que, en virtud de las relaciones de partida, ninguno de los parámetros de modo aislado puede producir un cambio cualitativo en el sistema. Son varios los parámetros a los que el modelo es sensible, no obstante lo cual, en el rango de valores considerado las variaciones de sus valores no ocasionan cambios en la tendencia de los bienes comunes ni, por tanto, del sistema. Es el caso, por ejemplo, de TREG. Al variar el valor de este parámetro, en el rango considerado, la evolución de BCD es la que muestra la figura 6. En ella se observa que, si bien se amplía el rango de trayectorias posibles, no varía el comportamiento de la variable. Para CD el resultado es similar.

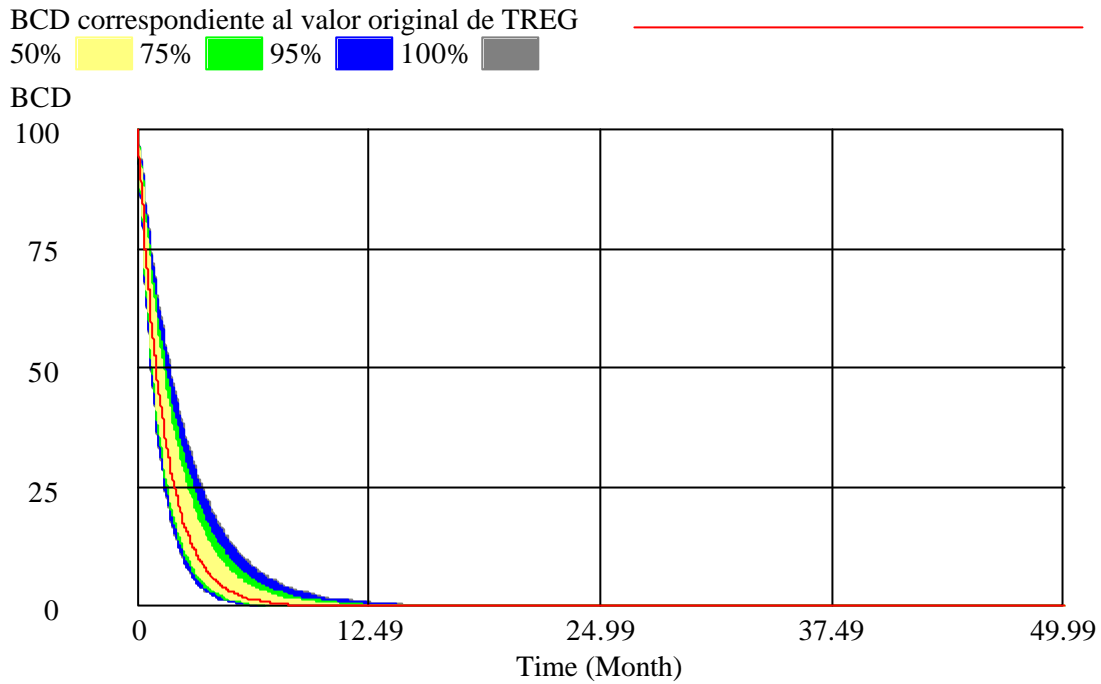


Figura 6. Resultados del análisis de sensibilidad de TREG sobre BCD.

En otros casos el efecto es nulo, es decir, la variación del valor del parámetro en el rango considerado no afecta a la evolución de BCD. Es el caso de CD o TDEP. La figura 7, por ejemplo, muestra la trayectoria única de BCD para diferentes valores de TDEP, en el rango de variación considerado.

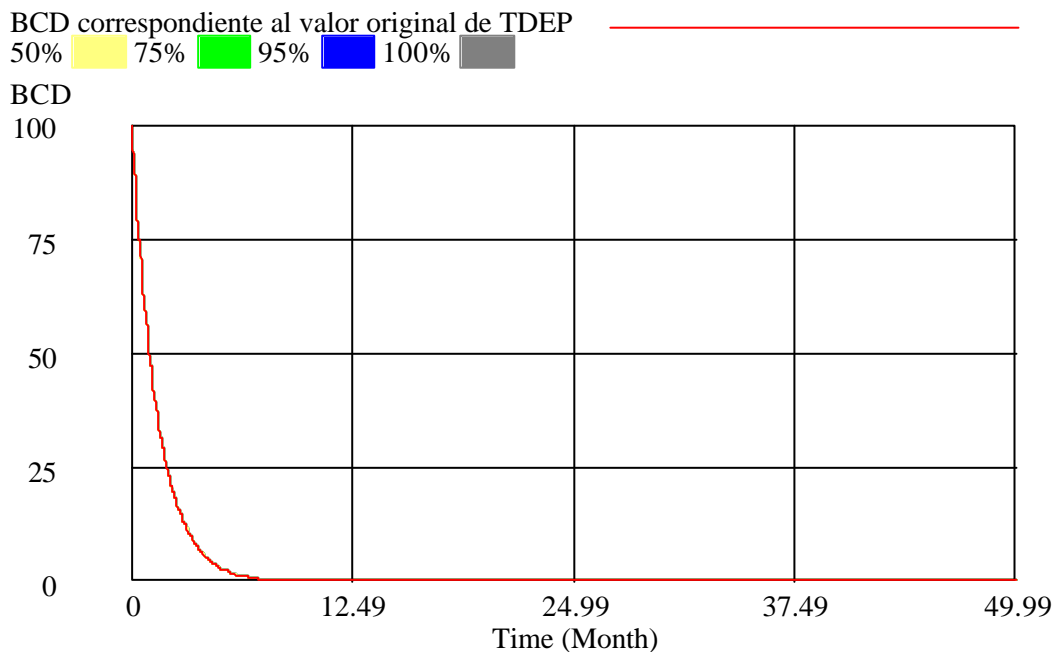


Figura 7. Resultado del análisis de sensibilidad de TDEP sobre BCD.

Ajuste del modelo: introducción de los costes de explotación

A la vista de los resultados del análisis de sensibilidad, el sistema no se mantiene a largo plazo considerando exclusivamente las relaciones del modelo de partida. Por ello, en este apartado introducimos ciertos ajustes en el modelo que pueden colaborar a que el recurso común no se agote. El modelo expuesto parte de la consideración de que el bien común, como su propio nombre indica, es propiedad de la colectividad

Al correr el modelo, ahora considerando que la variable BCFPP depende de la cantidad disponible –según la función ϕ_1 - en virtud de unos costes ligados al uso del bien, los resultados cambian sensiblemente. En primer lugar se debe destacar que los bienes comunes ya no se hunden, sino que se mantienen en el tiempo, tal y como se observa en la figura 8.

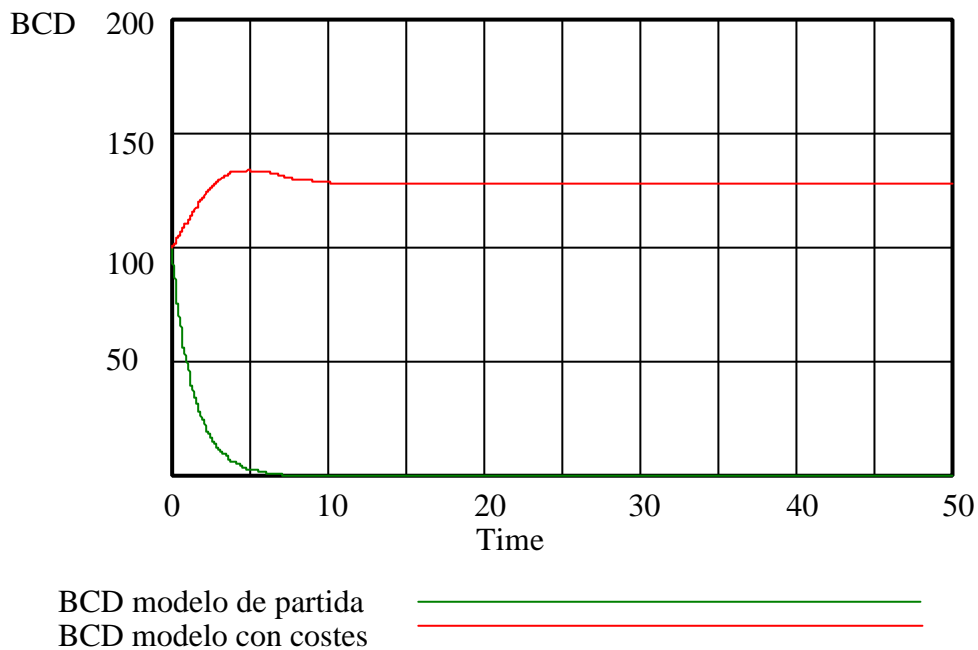


Figura 8. Comparación de la evolución de BCD antes y después de introducir los costes.

De igual modo, los factores productivos y los beneficios se mantienen en el tiempo, según reflejan las figuras 9 y 10.

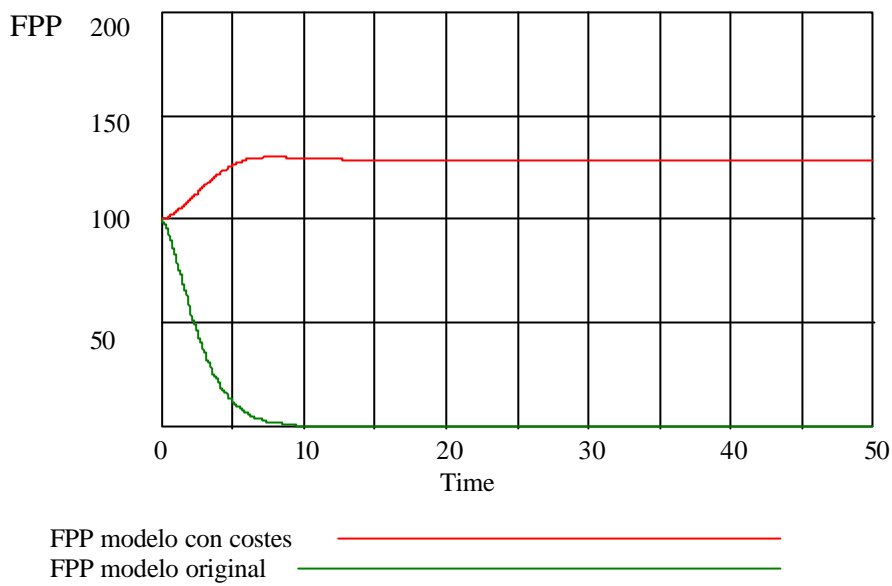


Figura 9. Evolución de FPP antes y después de introducir los costes.

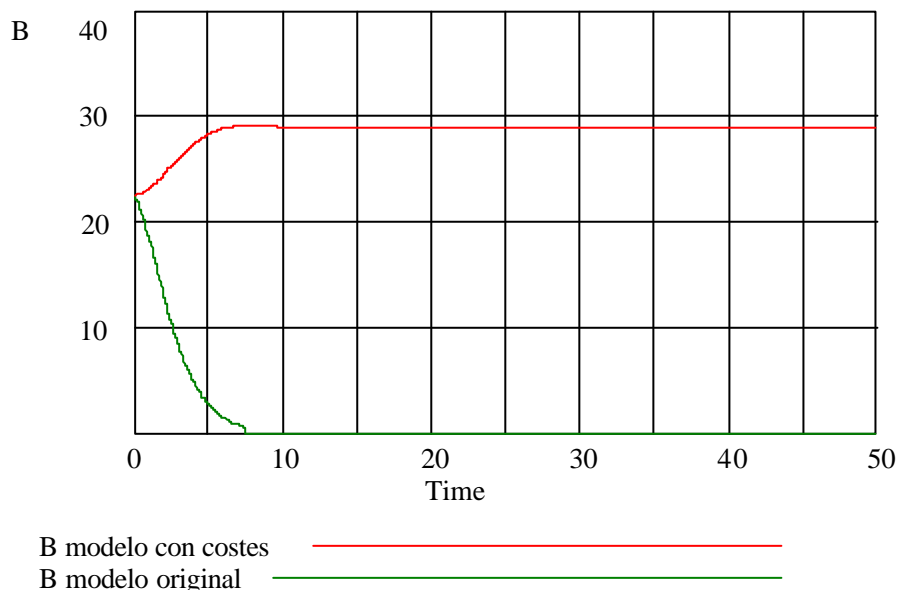


Figura 10. Evolución de B antes y después de introducir los costes.

Para valorar la robustez del modelo, tras introducir la nueva definición de BCFPP, se ha repetido el análisis de sensibilidad. Con ello se busca confirmar que el cambio de comportamiento descrito no ocurre exclusivamente para ciertos valores de los parámetros.

<i>Parámetro</i>	<i>Rango de variación</i>	<i>Efecto sobre BCD</i>	<i>Efecto sobre FPP</i>	<i>Efecto sobre B</i>
CD = 1	0.5 a 1.5	Muy sensible y sin cambio de tendencia	Muy sensible y sin cambio de tendencia	Muy sensible y sin cambio de tendencia
TREG = 0.3	0.05 a 0.6	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia
TDEP = 0.1	0.08 a 0.4	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia
TUSO = 0.9	0.1 a 1	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia
CC = 1	0.1 a 1	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia	Muy sensible sin cambio de tendencia

Tabla 3. Resultados del análisis de sensibilidad del modelo ajustado.

Los resultados del análisis de sensibilidad se han recogido en la tabla 3, de formato similar a la tabla 2.

Centrándonos en el análisis de BCD, los resultados de la tabla anterior permiten extraer las siguientes conclusiones:

- 1.- En todos los casos se observa, según refleja la columna tercera, que el comportamiento de BCD puede oscilar en un rango más o menos amplio sin que, en ningún caso, llegue a hundirse.
- 2.- Se aprecia, además, que una vez introducidos los costes de explotación, BCD muestra cierta sensibilidad a parámetros a los que, en el modelo de partida, era insensible. Es el caso, por ejemplo, de CD. Según veíamos en la tabla 2, el efecto del análisis de sensibilidad de este parámetro en el modelo original era nulo, esto es, no había ningún rango de variación en la trayectoria de BCD a raíz del cambio de valor del mismo, en el rango de valores considerado para el parámetro. Sin embargo en el modelo

con costes, el valor de CD sí ocasiona cambios en las trayectorias posibles de BCD, como muestra la figura 11.

3.- En ningún caso se producen comportamientos cualitativamente diferentes en función del valor de los parámetros puesto que, en todos los casos, sea cuál fuere el nivel, el bien común se estabiliza –no es devastado-.

4.- Es importante resaltar que, pese a que no se produzcan comportamientos cualitativamente diferentes dentro del propio modelo en función de los valores de los parámetros, en unos casos se estabiliza por encima de su valor inicial mientras que en otros lo hace en un valor inferior al de partida.

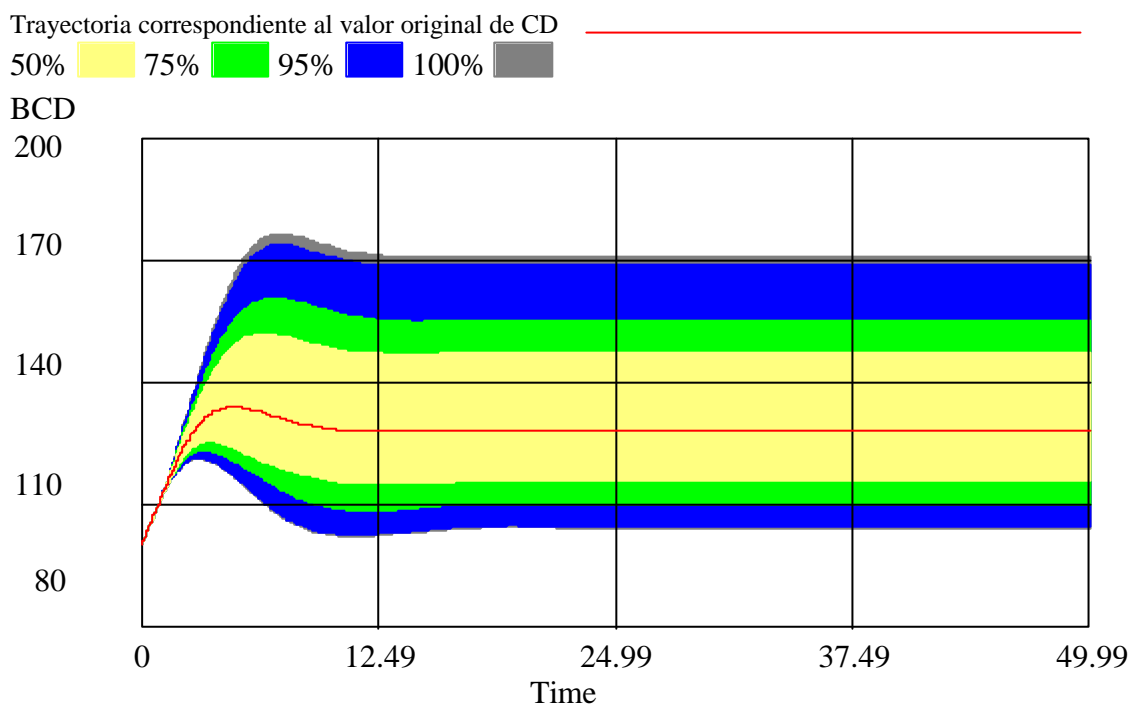


Figura 11. Resultado del análisis de sensibilidad de CD sobre BCD, una vez introducidos los costes en el modelo.

El resto de parámetros tienen una influencia similar, ampliando el rango de variación de trayectorias posibles, pero sin cambio cualitativo de comportamiento en función de su valor.

Condiciones de equilibrio del modelo

Con el objetivo de ratificar los resultados del modelo, a continuación se analizan las condiciones en las que se producirá el equilibrio a largo plazo.

Según la descripción inicial del modelo,

$$dBCD/dt = REG - DEG = TREG * BCD - \text{Min} (FPP_1 * \varphi_1 (BCD) * CC, BCD)$$

En el equilibrio, y suponiendo el caso de que el mínimo no sea BCD:

$$TREG * BCD = FPP_1 * \varphi_1 (BCD) * CC$$

En el equilibrio, FPP_1 es equivalente a FPP , por lo que podemos sustituirla y despejar:

$$FPP = TREG * BCD / (\varphi_1 (BCD) * CC) \quad (1)$$

Por otra parte,

$$dFPP/dt = CFPP - DEP =$$

$$= (BCD/FPP) * CD * \text{DELAY FIXED} (FPP, T_1, 100) - (TDEP + TUSO) * FPP$$

En el equilibrio:

$$(BCD/FPP) * CD * \text{DELAY FIXED} (FPP, T_1, 100) = (TDEP + TUSO) * FPP$$

Al ser $\text{DELAY FIXED} (FPP, T_1, 100)$ la función FPP retardada, al igual que se hizo en el caso anterior, se hace equivalente a FPP por estar estudiando el equilibrio a largo plazo.

$$(BCD/FPP) * CD * FPP = (TDEP + TUSO) * FPP$$

$$BCD * CD = (TDEP + TUSO) * FPP$$

$$FPP = (BCD * CD) / (TDEP + TUSO) \quad (2)$$

Igualando las relaciones obtenidas en (1) y en (2):

$$TREG * BCD / (\varphi_1 (BCD) * CC) = (BCD * CD) / (TDEP + TUSO)$$

$$TREG / (\varphi_1 (BCD) * CC) = CD / (TDEP + TUSO)$$

$$\varphi_1 (BCD) = TREG * (TDEP + TUSO) / CC * CD$$

Siendo CC y CD constantes e iguales a la unidad,

$$\varphi_1(\text{BCD}) = \text{TREG} * (\text{TDEP} + \text{TUSO})$$

de donde

$$\text{BCD}^e = \varphi_1^{-1}(\text{TREG} * (\text{TDEP} + \text{TUSO})/\text{CC} * \text{CD})$$

Sustituyendo los valores de los parámetros y recurriendo a la relación explícita en la tabla $\varphi_1(\text{BCD})$ se puede confirmar que la ecuación anterior se corresponde con un valor concreto de BCD.

Sustituyendo en (1) podemos llegar a la ecuación equivalente para FPP:

$$\begin{aligned} \text{FPP}^e &= \text{TREG} * \varphi_1^{-1}(\text{TREG} * (\text{TDEP} + \text{TUSO})/\text{CC} * \text{CD}) / (\text{TREG} * (\text{TDEP} + \text{TUSO}) * \\ &\quad \text{CC}) \\ &= \varphi_1^{-1}(\text{TREG} * (\text{TDEP} + \text{TUSO})/(\text{TDEP} + \text{TUSO})) \end{aligned}$$

Conclusiones

La explotación de bienes comunales, entendidos como factor productivo, suscita dilemas de diversa índole, empezando por el de la aparente imposibilidad de evitar su sobreexplotación. El recurso a la simulación dinámica permite describir la potencial devastación del bien comunal e identificar posibles vías de actuación para evitarla. En concreto, introducir costes ligados a dicha explotación logra inducir un cambio cualitativo en el comportamiento del modelo, de modo que el bien, y con él los factores productivos privados y los beneficios, dejan de hundirse para sostenerse a largo plazo.

El objetivo del modelo propuesto ha sido facilitar una vía adicional para el análisis teórico de la “tragedia de los comunes”, aplicando una herramienta concreta, así como ofrecer una senda de solución genérica que, en cada caso, habrá de materializarse en medidas diferentes.

El dilema de la “tragedia de los comunes” continúa abierto. Precisar mejor su formulación y discriminar en él lo esencial de lo accesorio permitirá avanzar hacia su solución, ya sea por la vía de la simulación u otras. Este trabajo no ha explorado la alternativa que puede ofrecer un enfoque más centrado en aspectos institucionales, aunque ha apuntado a las insuficiencias del

modelo metodológico del actor racional tradicional como un posible obstáculo para la emergencia de posibles soluciones teóricas, no sólo por su influencia en la modelación básica del dilema, sino también por esa vía.

Bibliografía

- Anderson, Jay M. (1974): "A model for *The Tragedy of the Commons*", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-4 (1), pp. 103 - 105.
- Anderson, Jay M. (1977): "A Model of the Commons", en *Managing the commons*, Garrett Hardin y John Baden (eds.), W.H. Freeman.
- Arora, N. y Sen, S. (1997): "Resolving Social Dilemmas Using Genetic Algorithms: Initial Results", *Proceedings of the 7th International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 689-695, Lansing, MI.
- Brennan, G. y Buchanan, James M. (1985): *The Reason of Rules. Constitutional Political Economy*, Cambridge University Press, pp. 121-135.
- Cogan, John F. (2002): "Federal Budget", en *The concise Encyclopedia of Economics*. Indianapolis. Liberty Fund Inc. ed. David R. Henderson, 2002.
- Fife, D., (1971): "Killing the Goose" *Environment*, abril, pp. 20-22.
- Friedman, J., (ed.) (1996): *The Rational Choice Controversy: Economic Models of Politics Reconsidered*. New Haven, Yale University Press, Connecticut.
- Glance, N.S. y Huberman, B.A., (1994): "The dynamics of social dilemmas", *Scientific American* 270 (March/3), pp. 58-63.
- Gordon, H. S., (1954): "The economic theory of common property resources: the Fishery", *Journal of Political Economy* 62, pp. 124-142.
- Green, D.P. y Shapiro, I., (1994): *Pathologies of Rational Choice Theory: A Critique of Applications in Political Science*. Yale University Press, New Haven.
- Hardin, Garrett, (1968): "The Tragedy of the Commons", *Science* 162, pp. 1243-48.
- Hardin, Garrett, (2002): "The Tragedy of the Commons", *The Concise Encyclopedia of Economic*. Liberty Fund. Intl. (<http://www.econlib.org>).
- Hogg, T., (1995): "Social dilemmas in computational ecosystems", *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI95)*, San Mateo, CA, pp. 711-716.

- Irvine, A.D., (1993): "How Braess' Paradox Solves Newcomb's Problem", *International Studies in Philosophy of Science*, Vol. 7, no. 2, 145-164. Reimpreso en Peter Danielson, (ed.) *Modeling Rationality, Morality and Evolution (Vancouver Studies in Cognitive Science)*, Oxford University Press, Oxford 1998, pp. 67-91.
- Kis, T., Váncza, J., y Márkus, A., (1996): "Controlling Distributed Manufacturing Systems by a Market Mechanism", en *Proceedings of the 12th European Conference on Artificial Intelligence*, Budapest, pp. 534-538. Editado por W. Whalster Published, John Wiley Sons, Ltd.
- Márkus, A., Váncza, J., (1996): "Are Manufacturing Agents Different?", *Proceedings of the European Workshop on Agent-Oriented Systems in Manufacturing*, Daimler-Benz AG, Berlin, pp. 86-103.
- Meadows, Donella H. et al., (1972): *The Limits to Growth*, Universe Books, New York:
- Mises, L. von (1940): *Nationalökonomie. Theorie des Handelns und Wirtschaftens*, Editions Union, Ginebra 1940 (*La Acción Humana: Tratado de Economía*, Unión Editorial, Madrid 1995, 5ª ed., pp. 773-782).
- Moxnes, E. (2000): "Not only the tragedy of the commons: misperceptions of feedback and policies for sustainable development", *System Dynamics Review*, Vol. 16, nº 4 (Winter 2000), pp. 325-348.
- Muhsam, H.V., (1973): "A world population policy for the World Population Year", *Journal of Peace Research*, 1-2, pp. 97-99. Cit. en Turner 1993.
- Muhsam, H.V., (1977): "An Algebraic Theory of the Commons": en Garrett Hardin y John Baden (eds.) (1977), *Managing the Commons*, W. H. Freeman.
- Ostrom, E., (1990): *Governing the Commons*, Oxford University Press.
- Ostrom, E., (1998): "A Behavioral Approach to the Rational Choice Theory of Collective Action", *American Political Science Review* 92, pp. 1-22.
- Randers, Jorgen, (2000): "From limits to growth to sustainable development, or SD (sustainable development) in a SD (system dynamics) perspective", *System Dynamics Review* vol. 16 nº 3, (Fall 2000), pp. 213-224.
- Riker, William, (1984): "The Heresthetics of Constitution-Making: The Presidency in 1787, with Comments on Determinism and Rational Choice", *American Political Science Review* 78, pp. 1-16.
- Smith, R.S., (2002): "Freedom and the Tragedy of the Commons: How Social Capital and Interpersonal Networks Enable Collective Action", XXX vol. 14, nº 2 - spring 2002.

- Stroup, Richard, (1990): "Natural Resource Scarcity and the Economics of Hope", en *Economics and the Environment: A Reconciliation*, editado por Walter E. Block, The Fraser Institute, Canadá.
- Turner, Roy M., (1993): "The Tragedy of the Commons and Distributed AI Systems", Proceedings of the 12th International Workshop on Distributed Artificial Intelligence, Hidden Valley, PA, pp. 379-390.
- Velasco, A., (1999): "A Model of Endogenous Fiscal Deficits and Delayed Fiscal Reforms", en J. Poterba y J. von Hagen (eds.), *Fiscal Institutions and Fiscal Performance*, Chicago University Press y NBER, Chicago, pp. 37-57.
- Yao, X. y Darwen, P., (1994): "An Experimental Study of N-Person Iterated Prisoner's Dilemma", *Informatica* n° 18, pp. 435-450.