

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO-AMBIENTAL EN LA COMUNIDAD CASTELLANO-LEONESA. MODELOS DE CONTROL ÓPTIMO.

Guiomar MARTÍN HERRÁN

Dpto. Economía Aplicada (Matemáticas)

Facultad de C.C. EE. y EE.

Universidad de Valladolid

1.- INTRODUCCIÓN.

1.1.- El Desarrollo Sostenible.

Sin duda, el informe Brundtland de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo de Naciones Unidas (Nuestro Futuro Común, 1987) marcó un hito histórico en la búsqueda de una economía que incluya, como cuestión fundamental, el objetivo de proteger el medio ambiente y el agotamiento de los recursos naturales. En 1991 el Banco Mundial en su Informe sobre el Desarrollo Mundial "La tarea acuciante del desarrollo" justificó la inclusión de un nuevo cuadro estadístico sobre recursos naturales, como un primer paso hacia el objetivo de incorporar datos ambientales en la evaluación del desarrollo y la planificación de estrategias económicas. Desde entonces, y sobre todo tras la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992 sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, numerosos autores han realizado trabajos, en diferentes contextos, sobre evaluaciones del impacto medioambiental de distintas medidas económicas en el uso de los recursos naturales [1].

La interdependencia entre economía y ecología conduce a un conflicto o dilema de política económica, ya que trata de hacer compatible el objetivo de crecimiento económico y los objetivos de protección ambiental y gestión racional de los recursos naturales. El medio ambiente no puede protegerse cuando el crecimiento no tiene en cuenta los costos del deterioro ambiental que produce la actividad económica. El concepto de desarrollo sostenible intenta compatibilizar el medio ambiente y el crecimiento económico, integrando diferentes aspectos de la interrelación entre economía y medio ambiente. Para el informe Brundtland, "El desarrollo sostenible no es un estado de equilibrio, sino más bien un proceso de transformación en el que la explotación de los recursos naturales, la elección de las inversiones y la orientación del desarrollo técnico, así como el cambio institucional, se determinan en función de las necesidades actuales y futuras". Así, el desarrollo sostenible puede verse como un modelo de desarrollo que responde a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de responder a las suyas [7].

El desarrollo sostenible aparece como una decisión de inversión: el individuo sacrifica o paga algo ahora para ganar en el futuro [6]. El objetivo es maximizar el bienestar neto de las actividades económicas, mientras que se mantiene o se aumenta el stock de los activos económicos, ecológicos y socio-culturales en el tiempo, para asegurar las sostenibilidad de la renta y la equidad intergeneracional [5]. De esta forma, la cuestión clave concierne a los objetivos medioambientales de los que toman las decisiones políticas, y en particular cuándo éstos se traducen en términos de restricciones del uso de los recursos, es decir,

en un criterio de sostenibilidad. Una cuestión relacionada es cómo los decisores pesan los objetivos medioambientales frente a los objetivos en el campo de la renta, la distribución de la renta, etc. En el intento de poder llevar a cabo esta comparación de una forma más realista algunos autores ([7], [5], [9]) han señalado la necesidad de incorporar los impactos medioambientales en el Producto Interior Bruto, y otras medidas de la renta y el output, pidiendo el ajuste desde el punto de vista medioambiental del sistema standard de cuentas nacionales.

La Economía Medioambiental contribuye a esta búsqueda del máximo del bienestar ayudando a incorporar los hechos sociales y medioambientales en la toma de decisiones económicas [5]. Aunque la base de este enfoque es la optimización económica y la gestión eficiente de los recursos, estos conceptos en ocasiones no son fácilmente aplicables a ciertos objetivos sociales y medioambientales. Por esta razón, se han hecho necesarios una serie de indicadores de calidad medioambiental y/o sostenibilidad, que sirven para establecer y controlar los efectos que las distintas políticas económicas producen en el medio ambiente.

La O.C.D.E. en su publicación "Economic and Ecological Interdependence" (1982) enumeró algunas cuestiones sobre el medio ambiente importantes a largo plazo, distinguiendo entre "cuestiones de contaminación del medio ambiente" y "cuestiones sobre recursos". Entre las primeras figuran el dióxido de carbono y el cambio climático, la capa de ozono, la lluvia ácida, los productos químicos, el movimiento internacional de residuos peligrosos y el mantenimiento de la diversidad biológica. En las segundas destacan la pérdida de terreno de cultivo y el deterioro del suelo. A los problemas anteriores pueden añadirse otras formas de deterioro como la explotación de recursos naturales distintos a las tierras de cultivo, el agotamiento de los recursos no renovables (petróleo, fósforo,..) y la mala administración de los recursos renovables o "condicionalmente renovables", es decir, los que son renovables siempre que el comportamiento del hombre satisfaga determinados requisitos.

Los problemas del medio ambiente presentan algunas características especiales frente a los de gestión de recursos naturales [3]: En primer lugar, el deterioro de los recursos naturales o humanos es irreversible o muy difícil de invertir, siendo éstos únicos o muy escasos. Segundo, los problemas son intersectoriales e interdisciplinarios. Y tercero, los problemas entrañan incertidumbre y riesgo, así como conflictos entre diferentes intereses e ideologías de la sociedad.

Para la resolución de estos problemas las distintas políticas medioambientales pueden seguir dos enfoques: el enfoque preventivo y el enfoque correctivo. El primero asume la necesidad de proteger los recursos naturales independientemente del proceso de desarrollo que se esté llevando a cabo, y se basa en métodos de análisis y de evaluación de la sensibilidad y vulnerabilidad de los recursos naturales. El enfoque correctivo asume que la protección de los recursos naturales debe considerarse como objetivo únicamente cuando existe un plan de desarrollo que pone en peligro la existencia de dichos recursos. La idea de desarrollo sostenible [2] coincide con el enfoque preventivo.

La legislación dentro de la Comunidad Económica Europea establece la necesidad de llevar a cabo "acciones preventivas de corrección", esto es, el exigir estudios de Evaluación de Impactos Ambientales de los proyectos antes de su aprobación. Este enfoque preventivo encuentra algunas dificultades en su aplicación, entre las que destacan por un lado, el problema de la valoración monetaria de los beneficios y costes ambientales; y por otro, la dificultad inherente a la disponibilidad de los datos medioambientales y al coste de ob-

tención de dichos datos. La valoración monetaria del medio ambiente es difícil debido a la inexistencia de "mercados de medio ambiente", por tanto la evaluación monetaria representa una aproximación de lo que cada persona está dispuesta a pagar por evitar un daño en el entorno. Además, aún es escasa la información que existe sobre los efectos negativos que recaerán en las generaciones futuras o los efectos sobre la población actual que se manifestarán en un futuro más o menos próximo. Por lo que se refiere a los datos son escasas las estimaciones sobre pérdidas de producto e ingreso a causa de un medio ambiente degradado, así como los daños a la salud humana, flora, fauna, edificios, materiales, etc., y los costes indirectos derivados de éstos.

En [8], en el contexto de la valoración medioambiental y buscando criterios operativos e indicadores mensurables, se establecen posibles criterios macroeconómicos e indicadores de sostenibilidad (estabilidad de la población, gases con efecto invernadero, acidificación, substancias tóxicas, degradación del suelo, acuíferos, ecosistemas naturales y extinción de especies). Estos autores también señalan otros indicadores estadísticos indirectos de una sostenibilidad a largo plazo: intensidad de la energía, proporción de la energía renovable, intensidad de materiales, proporción reciclada, intensidad de transporte, consumo de agua, tierras de labranza cultivadas, utilización del pastoreo, etc.

1.2.- Agricultura Sostenible.

Dado el carácter eminentemente agrario de la Comunidad Castellano-Leonesa dentro de la cual se enmarca este trabajo, se ha elegido el sector agrícola como campo de nuestro estudio de las repercusiones medioambientales en ésta actividad económica. Las transformaciones y prácticas agrícolas pueden ejercer acciones negativas en el medio ambiente, por lo que interesa estudiar los posibles impactos que pueden deteriorar la Naturaleza. En este contexto surge el concepto de "Agricultura sostenible" [10], que según la definición de la Sociedad Americana de Agronomía (ASA) "...es la que, a largo plazo, mejora la calidad del entorno y la base de recursos de los que depende; aporta los alimentos y fibras necesarios para la humanidad; es económicamente viable; y mejora la calidad de vida para el agricultor y para la sociedad en su conjunto." De forma alternativa [10] puede definirse la agricultura sostenible como los sistemas de cultivo capaces de mantener su productividad y utilidad para la sociedad de forma indefinida, además de ser conservadores con los recursos y buenos para el medio ambiente. Así, el objetivo de este tipo de agricultura, ya no es conseguir una máxima producción por hectárea, sino intentar alcanzar unos ingresos superiores de forma continuada, respetando el medio ambiente.

Una gran parte de la literatura económica sobre agricultura y medio ambiente [11] centra su atención en la forma de paliar las deseconomías externas que provocan determinadas técnicas de cultivo. Uno de los principales problemas para valorar estas deseconomías externas es su carácter difuso; los agricultores están dispersos geográficamente y son relativamente numerosos. Este carácter difuso, unido a las dificultades para relacionar las causas con los efectos en el corto plazo, hacen que las deseconomías externas sobre el medio natural de origen agrario sean peligrosas ya que muchas veces son invisibles en el corto plazo y aparecen de repente en el largo plazo [4].

Los impactos negativos de las prácticas agrarias sobre el medio ambiente pueden resumirse en los siguientes puntos [13]:

- Agricultura y calidad del agua: La utilización excesiva de abonos nitrogenados, estiér-

col y pesticidas pueden contaminar las aguas destinadas al consumo humano, además de empobrecer la diversidad de la flora y la fauna.

- Agricultura y calidad del suelo: Algunos sistemas de cultivo y técnicas de laboreo pueden provocar una fuerte erosión en los suelos. La utilización prolongada de ciertos fertilizantes y pesticidas puede perturbar las cualidades de los suelos.
- Agricultura y calidad del aire; La ganadería intensiva y las industrias agroalimentarias provocan los principales problemas.
- Agricultura y calidad de los alimentos: Toxicidad de algunos pesticidas y productos zoonosológicos.
- Agricultura y calidad del medio natural: El abandono de tierras puede ser la causa de incendios, erosión y desertificación.

Entre estos impactos cabe destacar el concerniente a la calidad del suelo. Al ser el suelo la base de la producción agrícola parece claro que debe conservarse con el mínimo deterioro posible. El suelo agrícola es un recurso natural condicionalmente renovable, que se genera muy lentamente y por tanto, el uso óptimo de este suelo no puede basarse únicamente en criterios económicos de eficiencia, sino que deben también tenerse en cuenta criterios ecológicos. De nuevo surge cierto conflicto entre los objetivos económicos, por ejemplo, beneficios a corto plazo, y los objetivos ambientales y ecológicos, por ejemplo, la no salinización o disminución de la erosión de los suelos.

La desertificación y erosión del suelo es uno de los problemas ambientales más grave en nuestro país. Así, para el Instituto para la Conservación de la Naturaleza, en 1990 el 44% del suelo español estaba afectado por erosión media, grave o muy grave. Además más del 50% del territorio padece una degradación del suelo por dispersión o erosión superficial de casi el doble del umbral tolerable cifrado en 6Tm/ Ha/ año. Esto se traduce en unas pérdidas de suelo fértil de más de 1000 millones de toneladas cada año. Los datos publicados por el M.O.P.U. (1989) señalan que la erosión es moderada o grave en el 55% de Castilla-León, siendo muy importante el riesgo de erosión en muchas de tierras de cultivo. Así, en nuestra comunidad con una superficie de 9.460.000 Ha., según la Dirección General del Medio Ambiente puede clasificarse [12]:

| Tipo | Has | % |
|--------------|-----------|----|
| Inapreciable | 2.932.600 | 31 |
| Leve | 1.324.400 | 14 |
| Moderada | 3.434.000 | 36 |
| Grave | 1.769.000 | 19 |

A la vista del cuadro anterior puede decirse que la erosión del suelo constituye una gran amenaza para Castilla-León, por un lado por la pérdida de la capacidad productiva de sus suelos; por otro, debido a los daños que causan los sedimentos al inutilizar embalses; sistemas de riego y vías de comunicación.

El Departamento de Agricultura estadounidense en su ecuación universal de pérdida del suelo señaló diversos factores que afectan a la pérdida de suelo: clima, características intrínsecas del suelo, topografía y seres vivos, y en especial la vegetación y la acción humana

[14]. Según [15] las cifras de erosión geológica en condiciones naturales, 4.5-45 gr. por metro cuadrado y año, si interviene el hombre, especialmente en áreas de uso agrícola, se multiplican por cien o incluso mil. A la vista de estas medidas parece conveniente el elegir técnicas de laboreo en las que se dé importancia a la protección del suelo contra la erosión. Es esencial la restitución de la fertilidad natural de muchos suelos agrícolas utilizando, desde la rotación adecuada de los cultivos hasta la agricultura biológica, pasando por el abonado natural y el abandono de técnicas inadecuadas, como la quema de rastrojos. No debe olvidarse que se ha evaluado, [13], que la erosión está disminuyendo la fertilidad natural del suelo en una proporción estimada del 20%. La comunidad Castellano-Leonesa, [16], puede considerarse una de las pioneras a la hora de probar algunas de estas técnicas en 1980 y ponerlas a disposición de los agricultores.

La cuantificación de la incidencia de las distintas prácticas agrícolas sobre el medio ambiente es una tarea complicada, por la diversidad de los impactos ambientales, su distinta naturaleza y su carácter difuso. Aunque no es el único problema, en las algunas zonas el excesivo uso de productos químicos es el principal. Además, se reconoce que la agricultura, para maximizar sus beneficios, tiende a sobrepasar la cantidad óptima de utilización de inputs químicos. Así, en 1989 la O.C.D.E. publicó resultados de encuestas realizadas en distintas países que demostraban que en algunos casos más de la mitad de los fertilizantes nitrogenados aplicados a una explotación, no eran indispensables para obtener el máximo beneficio. Los altos porcentajes de aplicación de fertilizantes en numerosas ocasiones han ido acompañados de crecientes tasas de acidificación del suelo, un deterioro de la estructura del suelo y una reducción o un exceso de elementos nutritivos en el suelo. Todos estos factores provocan un importante descenso en las tasas de productividad agrícola.

Para poder tratar mejor las interacciones ambientales y de recursos, en este caso el suelo cultivable, en el desarrollo agrícola, se deben formular modelos que reflejen estas interacciones económicas y ecológicas. Así, se necesitan análisis dinámicos e interdisciplinares [17] para estudiar el crecimiento económico y los problemas de carácter medioambiental en la agricultura. Los modelos estáticos a corto plazo no permiten recoger los efectos del uso continuado de inputs perjudiciales para el medio ambiente o la capacidad de éste de asimilarlos, por esta razón se defienden los análisis basados en la optimización económica dinámica.

La valoración de la calidad del medio ambiente como un recurso escaso permite que el análisis de los problemas medioambientales pueda plantearse mediante técnicas contrastadas en la gestión de los distintos tipos de recursos naturales. En los años 70, estos últimos problemas comenzaron a plantearse en términos de problemas de control óptimo, siendo más reciente su incorporación al estudio de los impactos medioambientales en distintos sectores económicos ([18], [19], [20], [21], [22]).

2.- MODELO.

El control de la erosión, y por tanto de la fertilidad del suelo, representa un problema clásico de comparar las ganancias inmediatas de una acción con las pérdidas asociadas a largo plazo. La cuestión es cómo equilibrar las ganancias y las pérdidas. A veces los problemas agrarios se justifican por los efectos medioambientales de una serie de técnicas o incentivos que animan el uso míopico de los recursos, entre ellos el suelo agrícola.

En esta sección se plantea un modelo de control óptimo que integra condiciones

económicas y ecológicas para el mantenimiento sostenible de la fertilidad del suelo. Por un lado se considera que el objetivo económico del agricultor es maximizar los beneficios generados por la explotación agrícola. De esta forma el funcional objetivo del problema son los rendimientos netos que obtiene con la comercialización del único producto que suponemos cultiva. Dado que, como ya hemos señalado anteriormente, los efectos sobre el medio ambiente de las distintas prácticas agrícolas sólo son visibles a largo plazo, consideramos que el horizonte temporal del modelo es infinito. Los rendimientos futuros se descuentan hasta el presente con el tanto de descuento o de preferencia.

Por otro lado, las condiciones ecológicas aparecen como restricciones en el modelo, a través del comportamiento de un índice de "calidad" o fertilidad de la tierra. La variación de este índice dependerá de una infinidad de factores, de entre los cuales hemos seleccionado tres: la profundidad de la capa fértil del suelo, la extensión del terreno en barbecho y la cantidad de fertilizantes empleados por el agricultor. El índice de calidad de la tierra será la variable de estado del problema, estableciéndose a través de ella la restricción desde el punto de vista ecológico. El agricultor elige los valores de la superficie que mantiene en barbecho y de la cantidad de fertilizante que emplea, que serán sus dos variables de control, de tal forma que maximice los rendimientos netos de su explotación, pero teniendo en cuenta la calidad del suelo que cultiva. Así, el problema de elección intertemporal puede plantearse como:

$$\begin{aligned} & \max_{N, U_B} \int_0^{\infty} R(q, N, U_B) e^{-\delta t} dt \\ & \text{s.a. } \dot{q} = a_1 \dot{S} + a_2 \frac{U_B}{U} - a_3 N \\ & \quad q(0) = q_0, \quad a_1, a_2, a_3 > 0 \end{aligned}$$

donde $R(q, N, U_B)$ es la función de rendimiento neto que depende de tres variables: el índice de calidad de la tierra, q ; la cantidad de fertilizante empleado medido en Kg/Ha , denotado por N y el número de hectáreas mantenidas en barbecho por el agricultor, U_B . Antes de establecer una expresión, dentro de las muchas posibles, para la función de rendimientos, indicaremos que es lo que representan el resto de las variables y parámetros del problema. δ , constante comprendida entre cero y uno, denota el tanto de descuento del agricultor, con la ayuda del cual compara los rendimientos obtenidos en los diferentes periodos de tiempo, en este caso cada año. La variable S corresponde a la profundidad del suelo fértil.

Siguiendo a Barrett, [20], se supone que la dinámica de la profundidad del suelo viene descrita por la ecuación diferencial, $\dot{S} = M - R$ donde M es la ganancia o pérdida natural del suelo y R mide la pérdida de profundidad debida al cultivo. En el modelo suponemos ésta última variable R proporcional a la cantidad de tierra cultivada por el agricultor, $U - U_B$, donde U es la superficie total en hectáreas de las que dispone el agricultor, considerada constante. Por tanto, $\dot{S} = M - \alpha(U - U_B)$ con α un parámetro que mide la pérdida de profundidad en centímetros por año y por hectárea (cm/Ha año). Este valor dependerá principalmente del tipo de tierra, de su calidad y de la técnica de cultivo utilizada. Una mayor profundidad del suelo es un buen indicador de la mayor fertilidad de éste, por lo tanto a_1 mide lo que mejora o empeora la calidad del suelo agrícola por cm de profundidad de la capa fértil ganado o perdido. En [15] se establecen unos tamaños relativos para M y α de cien o mil veces mayor el segundo que el primero.

El valor de a_2 es un índice que mide la mejora de la calidad del suelo en un año por

la proporción de la superficie en barbecho respecto a la total. Por su parte, a_3 indica lo que empeora la calidad de la tierra en un año por la cantidad de Kg/Ha de fertilizante utilizada. Aunque se conoce el comportamiento cualitativo del suelo fértil ante estas prácticas agrícolas, no se dispone de medidas para los valores de a_2 y a_3 que permitan establecer la respuesta cuantitativa.

Si consideramos que la calidad del suelo repercute en los rendimientos obtenidos por el agricultor una forma de expresar estos será a través de la siguiente función:

$$R(q, N, U_B) = (p[a + bN]q - HL - p_f N)(U - U_B) + r U_B$$

donde p es el precio del producto en pesetas por tonelada (pts/Tm). HL el coste de laboreo esperado o gastos fuera del sector excluyendo los fertilizantes (semillas selectas y plántones, energía y lubricantes, pesticidas y herbicidas, conservación y reparación de maquinaria, conservación y reparación de edificios y gastos generales) en pesetas por hectárea (pts/Ha), que se supone independiente de la calidad de la tierra. p_f es el precio del fertilizante en pts/Kg y r representa el rendimiento anual esperado en pesetas por hectárea de barbecho, vía subvenciones, uso deportivo del terreno, etc. Finalmente, $a + bN$, medido en toneladas por hectárea (Tm/Ha), corresponde a la función de rendimiento del cultivo como función lineal de la cantidad de fertilizante que éste recibe, donde a representa el rendimiento sin fertilización y b mide el incremento del rendimiento por unidad de fertilizante. Así, la función de rendimiento $R(q, N, U_B)$ expresa los ingresos por la venta del producto ($p[a + bN]q$) menos los costes ($HL + p_f N$) por hectárea cultivada, por el número de éstas ($U - U_B$), más los rendimientos obtenidos por la superficie que permanece en barbecho ($r U_B$).

Al escribir el rendimiento del cultivo en función de la cantidad de fertilizante como $[a + bN]q$ estamos suponiendo que un aumento en el índice de calidad de la tierra proporciona un incremento lineal del rendimiento del cultivo. Ensayos realizados en distintas extensiones agrarias, con el fin de establecer la forma de reflejarse la cantidad de fertilizante empleada en la productividad, señalan como típicas las respuestas según la ley de rendimientos decrecientes. En [10] se exponen resultados sobre ensayos de fertilización nitrogenada realizados en Burgos en fincas donde se cultivaba cereal, en particular, cebada. Aunque en este caso la curva de rendimientos también presenta una zona donde los aumentos de producción son marginales, el autor señala que estos comportamientos dependen fuertemente del tipo de campo utilizado en los ensayos, así como de la fertilización llevada a cabo anteriormente. Por esta razón, y con el fin de simplificar, consideramos la parte de la curva de rendimientos que es creciente, aproximándola por una recta, que ajustando con los datos de estos ensayos viene dada por: $0.01 + 3.5N$, donde N está medido en Kg de nitrógeno empleados por hectárea. Así, p_f representa el precio en pesetas de un Kg de nitrógeno y se restringe el estudio a los fertilizantes nitrogenados. Sólo señalar que en el quinquenio 1986-1990 considerado en el análisis numérico del modelo, por no disponer de datos definitivos y a nivel autonómico de las variables para los períodos posteriores, a pesar del descenso del importe en los gastos de los agricultores en los fertilizantes nitrogenados, éstos siguen siendo muy superiores a los de los fosforados y potásicos. (Fuente: Anuario de Estadística Agraria 1991. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.). Por otro lado los precios p_f de un Kg de nitrógeno se han determinado partiendo de los datos disponibles sobre los precios por Kg (a nivel nacional) de los distintos fertilizantes nitrogenados y el porcentaje de nitrógeno que presentan cada uno de ellos. En la tabla aparecen reflejados los precios medios.

Para determinar HL consideramos datos autonómicos de los gastos fuera del sector excepto los gastos en fertilizantes nitrogenados. Estos últimos se han estimado como el producto del precio medio en pesetas de un Kg de nitrógeno, calculado anteriormente, la cantidad de Kg de nitrógeno utilizada por hectárea y el número de hectáreas de superficie fertilizable en Castilla-León. Como superficie fertilizable se han considerado las tierras de cultivo (herbáceos más leñosos), menos los terrenos en barbecho, más los prados naturales. En la tabla se muestran estos valores en pesetas por hectárea (Elaboración propia; Fuente: Anuario Estadístico 1992. Junta de Castilla y León.).

Para llevar a cabo el análisis empírico se ha elegido como cultivo representativo de la comunidad Castellano-Leonesa la cebada en secano, ya que es con diferencia frente a los otros cultivos incluyendo los otros cereales de grano, al que mayor superficie de cultivo se le dedica en la región. La siguiente tabla recoge los precios a nivel nacional recibidos por los agricultores en pesetas por Tm de cebada. (Fuente: Anuario de Estadística Agraria 1991. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.).

El último parámetro que resta por determinar es r , el rendimiento anual en pesetas por hectárea de barbecho. Este valor se ha medido vía las subvenciones concedidas por la Junta de Castilla y León (B.O.C. y L. N.º 222, 1993) a través de las ayudas a las explotaciones que desarrollen prácticas agrícolas tendentes a la protección del medio ambiente en las estepas cerealistas de la comunidad autónoma. Se han computado los valores de r para los distintos años según las fórmulas asociadas al concepto de aumento de la superficie de barbecho y publicadas en el Boletín Oficial de Castilla y León junto a la primera convocatoria realizada en noviembre de 1993. La cuantía de la ayuda es proporcional al rendimiento del secano en Tm/Ha fijado para la comarca en que radiquen las tierras y al tipo de conversión agrario del ECU en pesetas vigente el 1 de enero de cada año. El factor de proporcionalidad puede variar de un periodo a otro, pero ya que en el quinquenio considerado no existían este tipo de subvenciones se ha supuesto que éste es idéntico en todos, 17.000/352 (Elaboración propia; Fuentes: Anuario Estadístico 1992. Junta de Castilla y León; Boletín Estadístico. Banco de España.).

| parámetro (u.) | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| p_f (pts/ Kg) | 102,96 | 90,59 | 81,175 | 78,77 | 77,25 |
| HL (pts/ Ha) | 49.436,9 | 49.686,4 | 48.590,6 | 53.736,0 | 59.764,4 |
| p (pts/ Tm) | 24.370 | 22.670 | 22.680 | 22.700 | 22.470 |
| r (pts/ Ha) | 9.972 | 19.487 | 21.689 | 11.976 | 15.265 |

3.- ANÁLISIS.

La solución del problema de control planteado puede obtenerse a través de las condiciones necesarias de optimalidad que establece el Principio del Máximo de Pontryagin. Su aplicación proporciona las condiciones necesarias para que λ y q puedan ser soluciones optimales del problema, donde λ es la variable de coestado asociada a q , y puede interpretarse como el precio sombra de ésta última. Se tiene el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales autónomo:

$$\dot{q} = a_1(M - \alpha U) + \left(\alpha a_1 + \frac{a_2}{U}\right) U_B - a_3 N$$

$$\dot{\lambda} = -p(U - U_B)(3.5 + 0.01N) + \delta \lambda$$

Además, deben verificarse las dos ecuaciones que escribimos a continuación:

$$\begin{aligned} (p0.01q - p_f)(U - U_B) - \lambda a_3 &= 0 \\ -p(3.5 + 0.01N)q + HL + p_f N + r + \lambda \left(\alpha a_1 + \frac{a_2}{U} \right) &= 0 \end{aligned} \quad (R)$$

Los estados estacionarios o de equilibrio del modelo, si existen, son aquellos en los que $\dot{q} = 0$, $\dot{\lambda} = 0$. La primera de las ecuaciones establece que el índice de la calidad de la tierra no varía en estas posiciones. Si bien el objetivo utópico puede ser que el agricultor determine la superficie que se deja en barbecho, U_B , y la cantidad de fertilizante nitrogenado que se emplea, N , de tal forma que mejore la calidad de la tierra, un objetivo más realista es que elija los valores de sus variables de control sin que el índice empeore. Por tanto, un primer análisis del modelo consiste en estudiar el efecto de cambios en los valores de los parámetros sobre estas posiciones de equilibrio. Ya que la dinámica del modelo planteado es bastante compleja, debido al número de variables y parámetros que la determinan, se han introducido algunas hipótesis simplificadoras, llevándose a cabo análisis parciales.

3.1. - Cantidad de fertilizante nitrogenado constante.

En primer lugar, suponemos que el agricultor dispone de una única variable de control, U_B , ya que la cantidad de fertilizante es fija y pasa a ser un parámetro en el planteamiento del modelo. En este caso las condiciones de optimalidad son las mismas que en el caso general, eliminando la primera de las dos ecuaciones dadas en (R). Analizando estas condiciones se determina que para garantizar la existencia de alguna posición de equilibrio es necesario que el valor constante de fertilizante empleado se mantenga inferior a $\frac{a_2 + a_1 M}{a_3}$. Además, se ha probado que, como era de esperar, para que no se deteriore la calidad del suelo la superficie que debe mantenerse en barbecho aumenta al crecer la fertilización aplicada. El comportamiento del índice de la calidad del suelo frente al nitrógeno empleado, no puede determinarse de forma única ya que depende de expresiones complicadas que involucran numerosos parámetros del modelo. Aún así, bajo determinadas condiciones, se ha determinado un umbral para el valor de N que permite asegurar que por debajo de él, la calidad de la tierra mejora con un mayor empleo de fertilizante y el recíproco, si se supera dicho umbral. Se ha probado que este valor máximo de fertilizante nitrogenado permitido para que el índice de calidad no disminuya, crece con aumentos de los parámetros a_1 , a_2 y M y disminuye cuando crece a_3 . Este último comportamiento indica que cuanto mayor sean los impactos del fertilizante en la calidad del suelo, menos cantidad de éste puede emplearse si se busca el equilibrio ecológico. Utilizando los datos de las tablas anteriores puede concluirse que siempre que se verifique $a_3 > 1,1 \times 10^{-4}$, la calidad de la tierra empeora al aplicar más abono. Por un lado, el rendimiento neto que busca maximizar el agricultor siempre aumenta si el índice de calidad crece; por otro, aumenta con el fertilizante utilizado si se verifica $p0.01q - p_f > 0$ y decrece si se da la desigualdad contraria. Con los datos recogidos en la tabla anterior sobre p y p_f , se ha determinado el valor umbral del índice en cada año, por encima del cual el rendimiento crece con el nitrógeno empleado y disminuye para valores inferiores (primera fila de la tabla).

| | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| umbral q | 0,4225 | 0,3996 | 0,3579 | 0,3470 | 0,3437 |
| p_f (pts/Kg), % | 100 | 87,99 | 78,84 | 76,51 | 75,03 |
| p (pts/Tm), % | 100 | 93,02 | 93,07 | 93,15 | 92,20 |

Las dos últimas filas de la tabla reflejan la evolución de los precios medios de los fertilizantes nitrogenados y de la cebada tomando como año base 1986. El descenso de casi un 25% del precio de este tipo de abono frente al 7,8% del correspondiente al cultivo elegido, puede considerarse como uno de los factores claves para el aumento de los intervalos para el índice de la calidad de la tierra en los que una mayor fertilización provoca un incremento del rendimiento.

3.2. - Superficie en barbecho constante.

Otra posible simplificación del modelo consiste en suponer que la superficie que el agricultor mantiene en barbecho es constante, y por lo tanto éste dispone de una única variable de control dada por la cantidad de fertilización elegida para su cultivo. Bajo este supuesto las condiciones de optimalidad se obtienen considerando las del caso general, excepto la segunda ecuación de (R). Estudiando estas condiciones se determina las siguientes desigualdades que necesariamente deben satisfacer U_B y q para que el problema presente situaciones estacionarias: $U_B > \frac{a_1(\alpha U - M)U}{a_2 + a_1\alpha U}$, $q > \frac{pJ}{p}100$. La primera establece un umbral para la superficie en barbecho respecto del total que depende de los índices del deterioro natural y provocado por el cultivo y la capacidad de mejora del suelo fértil con U_B . La segunda indica la imposibilidad de mantener la misma calidad del suelo, si ésta ya no supera cierto valor límite. Notemos que ésta última condición es la misma que surgía en la sección anterior para garantizar que el rendimiento neto del agricultor crece con el fertilizante usado. Considerando que el agricultor tipo deja en barbecho, cada año, una misma proporción respecto al total de su superficie agrícola disponible, hemos estimado ésta como la relación entre los barbechos y tierras no ocupadas y las tierras ocupadas por cultivos herbáceos a nivel de Castilla y León. (Fuente: Anuario Estadístico de Castilla y León. Años 1988, 1989, 1990, 1991, 1992).

| | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| U (Miles Has) | 2.942,5 | 2.973,9 | 2.981,9 | 2.951,9 | 2.989,6 |
| U_B (Miles Has) | 1.056,6 | 1.035,4 | 1.018,5 | 1.030,7 | 886,4 |
| $\frac{U_B}{U}$, % | 35,91 | 34,81 | 34,16 | 34,92 | 29,65 |
| Umbral | 0,3591 | 0,3481 | 0,3416 | 0,3492 | 0,2965 |

En la última fila indicamos cada año la cota superior del valor $\frac{a_1(\alpha U - M)}{a_2 + a_1\alpha U}$, para que en este caso el modelo pueda presentar posiciones de equilibrio. Notemos que la amplitud del intervalo de valores admisibles para la constante anterior decrece de un período a otro, excepto el año 89. Por lo que se refiere a los comportamientos de las variables en el equilibrio respecto a cambios en la superficie constante en barbecho, se ha probado que tanto el índice de calidad como la cantidad de abono empleada aumentan con el valor de U_B . Este último hecho puede explicarse teniendo en cuenta que al aumentar el barbecho mejora la calidad de la tierra, por lo que se utiliza más fertilización para que no se modifique el índice en el equilibrio. En la siguiente tabla se establecen, en primer lugar, los rendimientos medidos en *pts/Ha* que obtiene el agricultor comercializando su producto. La última fila muestra el porcentaje que representa la subvención que recibe si deja la hectárea en barbecho r ,

frente al rendimiento total si la cultiva.

| | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rend ^{to} . pts/Ha | 36.165 | 53.750 | 73.256 | 42.494 | 53.119 |
| % | 27,30 | 36,25 | 29,61 | 28,18 | 28,73 |

A la vista de esta tabla puede suponerse que la contribución en el rendimiento o beneficio total del agricultor de la parte que deja en barbecho r es pequeña en comparación con los rendimientos de la parte que cultiva, por lo que éste tenderá a dejar la menor cantidad de terreno en barbecho posible que mantiene el equilibrio del suelo. Entonces, $U_B = \frac{a_1(\alpha U - M)U}{a_2 + a_1\alpha U}$. Este valor U_B es independiente del parámetro a_3 , crece con a_1 y decrece con a_2 y M . Así, con a_2 , índice anual de mejora de la tierra por hectárea mantenida en barbecho, más alto en el equilibrio puede elegirse una menor superficie sin cultivar.

3.3. - Cantidad de fertilizante nitrogenado en función del índice de calidad de la tierra.

En esta sección se considera que el agricultor sigue disponiendo de una única variable de control, la superficie que mantiene sin cultivar, pero frente a 3.1. la cantidad de fertilizante empleada no es constante, sino una función de la calidad del suelo. Se supone que esta función $N = N(q)$ es decreciente con el índice q , entendiéndose que con una tierra más fértil la cantidad de abono necesaria disminuye. También en este caso existe una cota para el valor de $N(q)$ por encima de la cual no se pueden presentar situaciones estacionarias. Se estudia el comportamiento de estas posiciones con distintas funciones $N(q)$. En primer lugar, con una función lineal $N(q) = N_0 - N'_0 q$, con $N_0, N'_0 > 0$, obteniéndose las siguientes acotaciones para el índice de calidad del suelo en el equilibrio: $\frac{a_3 N_0 - (a_2 + a_1 M)}{a_3 N'_0} < q < \frac{N_0}{N'_0}$, lo

que entre otros resultados implica que $N_0 < \frac{2(a_2 + a_1 M)}{a_3}$. El comportamiento de los rendimientos netos que consigue el agricultor ante cambios en la fertilización se estudia vía los obtenidos frente a modificaciones del índice de calidad. Si bien la conducta no es única se han determinado dos condiciones independientes que aseguran un decrecimiento de los beneficios ante aumentos de la cantidad de abono aplicado, dadas por: $q < \frac{p_f}{p} 100$

y $q < \frac{N_0}{2N'_0}$. Notemos que la primera desigualdad establecía este mismo comportamiento del rendimiento, tanto cuando la cantidad de fertilizante como la superficie de barbecho eran constantes. A continuación eligiendo $N(q) = \frac{N_0}{q}$, con $N_0 > 0$ la cota viene dada por $q > N_0 \frac{a_3}{a_2 + a_1 M}$ y de nuevo surge la condición $q < \frac{p_f}{p} 100$ que conlleva la disminución del rendimiento con fertilización creciente.

3.4. - Superficie en barbecho función del índice de calidad de la tierra.

Análogamente a la sección anterior, suponemos aquí que la superficie que deja el agricultor en barbecho es una función decreciente del índice de calidad del suelo $U_B = U_B(q)$, ya que cuánto más fértil sea la tierra mayores rendimientos se esperan obtener de ella y se está renunciando a un beneficio mayor al mantenerla sin cultivo. De nuevo aparece un umbral para el valor de $U_B(q)$ y restricciones sobre la igualdad del signo para la expresión $p \cdot 0.01q - p_f$ y el precio sombra λ , con el fin de asegurar el equilibrio de la fertilidad

del suelo. Inicialmente se considera la función lineal $U_B(q) = U - \beta q$ correspondiendo la cota $q < \frac{1}{\beta} \left[\frac{U(a_2 + a_1 M)}{a_2 + a_1 \alpha U} \right]$. Con esta función $U_B(q)$ se obtiene la condición que determina el comportamiento de los rendimientos con la cantidad de superficie en barbecho, mediante el análisis de éste con el índice de calidad de la tierra. Así, cuando se verifica $q < \frac{HL + p_f N + r}{2p(3.5 + 0.01N)}$, los beneficios crecen con las hectáreas sin cultivar, sucediendo lo contrario si el índice satisface la desigualdad opuesta. Tomando los valores de los parámetros previamente estimados y considerando que el agricultor elige los valores de la variable de control N siguiendo los datos estadísticos, determinamos la cota superior para el índice de fertilidad del suelo que asegura rendimientos crecientes con la superficie en barbecho (primera fila de la tabla).

| | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Umbral q | 0,3302 | 0,4057 | 0,4064 | 0,3763 | 0,4313 |
| Umbral q | 0,5746 | 0,6369 | 0,6374 | 0,6134 | 0,6567 |

Posteriormente se elige $U_B(q) = \frac{U}{q}$ y la cota para el índice q que permite la existencia de estados estacionarios viene dada por $q < \frac{a_2 + a_1 \alpha U}{a_1(\alpha U - M)}$. Además, para los valores del índice para los que es válida la inecuación $q^2 < \frac{HL + p_f N + r}{p(3.5 + 0.01N)}$, se tienen rendimientos crecientes con el aumento de superficie de barbecho. La segunda fila de la tabla anterior recoge esta cota superior para el valor del índice q , en el quinquenio elegido.

3.5. - Experimentos numéricos.

Al no disponerse de medidas de a_1 , a_2 y a_3 , se efectuaron estimaciones de los valores de las variables del problema en los puntos de equilibrio, para distintos tamaños relativos de estos parámetros. Una primera simplificación en el estudio fue considerar el tamaño de a_1 bastante más pequeño que el de los otros dos. Esto se debe a que el interés del análisis se centra en las variables de control U_B y N , y por tanto, se eligieron valores superiores de los parámetros asociados a estas variables, con la finalidad de poder estudiar mejor la influencia de éstos sobre las posiciones estacionarias. El estudio se inició con el modelo en el que la cantidad de fertilizante empleado es constante. En primer lugar, con el fin de acotar ciertos márgenes para los valores a_2 y a_3 que proporcionarían estados de equilibrio con cantidades de U_B y N "realistas" se generaron valores aleatorios de los parámetros, con el mismo, uno y dos órdenes de magnitud de diferencia entre ambos. Además, se realizaron las estimaciones en todos los casos anteriores para diferentes magnitudes de los parámetros. De esta forma se eligieron a_2 dos órdenes de magnitud inferior a a_3 , dentro de los siguientes intervalos: $a_2 \in [1.0 \times 10^{-4}, 1.0 \times 10^{-2}]$, $a_3 \in [1.0 \times 10^{-6}, 1.0 \times 10^{-4}]$. Del análisis de los datos obtenidos puede deducirse que para un valor fijo de a_2 , índice de mejora de la calidad del suelo con la superficie en barbecho, independientemente de a_3 , el porcentaje de tierra no cultivada permanece constante. Además, según aumenta a_3 , índice del deterioro de la fertilidad del suelo con el uso de fertilizante, el nitrógeno disminuye para poder alcanzar el equilibrio y la calidad de la tierra en este punto decrece. Si se considera invariable a_3 el efecto de un aumento de a_2 es, por una parte, un descenso de la superficie mantenida en barbecho. Por otra, un crecimiento de la cantidad de abono empleado y del índice de calidad de la tierra en posición estacionaria. Las siguientes tablas de doble entrada

recogen posiciones de equilibrio de q , N y U_B , respectivamente, según valores de a_2 y a_3 . El resto de los parámetros del modelo se tomaron: $p_f = 85$, $HL = 50.000$, $p = 23.000$, $r = 15.000$, $U = 20$, $M = 1 \times 10^{-4}$, $\alpha = M * 500$, $\delta = 0.1$ y $a_1 = 1 \times 10^{-6}$.

| $a_3 \setminus a_2$ | 5×10^{-4} | 1×10^{-3} | 5×10^{-3} |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 5×10^{-6} | 0,838 | 0,869 | 1,14 |
| 1×10^{-5} | 0,825 | 0,842 | 0,990 |
| 5×10^{-5} | 0,814 | 0,820 | 0,874 |

| $a_3 \setminus a_2$ | 5×10^{-4} | 1×10^{-3} | 5×10^{-3} |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 5×10^{-6} | 25 | 50 | 250 |
| 1×10^{-5} | 12,5 | 25 | 125 |
| 5×10^{-5} | 2,5 | 5 | 25 |

| $a_3 \setminus a_2$ | 5×10^{-4} | 1×10^{-3} | 5×10^{-3} |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 5×10^{-6} | 5,030 | 5,015 | 5,003 |
| 1×10^{-5} | 5,030 | 5,015 | 5,003 |
| 5×10^{-5} | 5,030 | 5,015 | 5,003 |

A la vista de estas tablas puede deducirse la necesidad de conocer medidas de los parámetros a_2 y a_3 , para poder llevar a cabo un análisis más realista. Eligiendo, por ejemplo, $a_2 = 1 \times 10^{-3}$, dejando en barbecho siempre la misma superficie, algo menos del 25% de la extensión total, la primera fila de la segunda tabla, presenta una cantidad de abono en el equilibrio, que concuerda, aproximadamente, con las cantidades realmente empleadas. En cambio, las otras filas, según aumenta a_3 , que mide el deterioro del suelo con el empleo del fertilizante, sólo permiten en el estado estacionario cantidades de nitrógeno muy por debajo de las utilizadas actualmente. Por su parte, el índice de calidad del suelo en el equilibrio disminuye al crecer a_3 . Si se considera a_3 fijo, por ejemplo, $a_3 = 5 \times 10^{-6}$, al crecer a_2 , el indicador de la mejora en el suelo por hectárea no cultivada, permite en el equilibrio la disminución de la superficie en barbecho. Además la calidad de la tierra mejora, a pesar de que se permite la utilización de cantidades de abono totalmente desorbitadas, debido a la diferencia de tres órdenes de magnitud entre los tamaños de a_2 y a_3 . La aparición de estas cantidades irrealistas puede verse como una consecuencia de haber elegido una función de rendimiento lineal con el fertilizante utilizado, en lugar de una que satisfaga la ley de rendimientos decrecientes, más acorde con la realidad. Con las tablas superiores se determinan los rendimientos para los diferentes valores de a_2 y a_3 . Si a_2 permanece constante según aumenta a_3 , el rendimiento decrece. Notemos que en este caso, independientemente del valor a_3 , la superficie en barbecho es fija y tanto el nitrógeno empleado como el índice de la calidad de la tierra disminuyen con aumentos en a_3 . Si por el contrario éste último parámetro es fijo, el rendimiento crece con incrementos de a_2 . Recordemos que bajo estas hipótesis sobre los parámetros, U_B desciende mientras que N y q aumentan.

Cuando la cantidad de fertilizante utilizada es una función lineal decreciente del índice de calidad, $N(q) = N_0 - N'_0 q$, con $N_0, N'_0 > 0$, se consideraron a_2 y a_3 fijos dentro de los rangos anteriores y se generaron los distintos equilibrios para diferentes valores de N_0 y N'_0 . Los intervalos para estos parámetros fueron los siguientes: $N_0 \in [50, 75]$, $N'_0 \in [0, 10]$. En este caso para N_0 fijo y N'_0 crecientes, disminuyen tanto el uso de fertilizante como la superficie en barbecho y la calidad de la tierra mejora. Con N'_0 constante y N_0 cada vez

mayor, se presenta el comportamiento opuesto de los valores del fertilizante y del barbecho, pero sigue aumentando el índice de calidad de la tierra.

Bajo la hipótesis de que la superficie en barbecho es constante, se determinaron los estados estacionarios correspondientes a los valores de los parámetros en los rangos establecidos previamente. Analizando su comportamiento puede decirse que para a_2 fijo el valor de la variable que mide el fertilizante y el índice de calidad de la tierra también lo son, debiendo aumentar la superficie en barbecho; mientras que si el que permanece constante es el parámetro a_3 , la extensión de tierra no cultivada no cambia de valor, no sucediendo lo mismo con las otras dos variables: N disminuye y q aumenta.

Por último si la cantidad de tierra no trabajada depende de la calidad de ésta, no se puede determinar de la misma forma que en los otros casos el valor del índice q en el equilibrio, ya que esto implica la resolución de ecuaciones polinómicas de orden más alto.

4.- CONCLUSIONES.

En el análisis de las posiciones de equilibrio del modelo económico-ecológico planteado en este trabajo surge la necesidad de disponer de medidas de los parámetros que aparecen en él. Al estudiar la influencia sobre la fertilidad del suelo agrícola en los estados estacionarios, de la cantidad de fertilizante nitrogenado empleado y de la superficie mantenida en barbecho por un agricultor tipo de la Comunidad Castellano-Leonesa, se ha revelado necesario conocer estimaciones de los tamaños, al menos relativos, del índice de deterioro y de mejora del suelo agrícola, debidos a la cantidad de fertilizante empleado y a la extensión no cultivada, respectivamente. Utilizando técnicas de control óptimo y eligiendo ciertos rangos para los parámetros de los que no se dispone de medidas, se han determinado las posiciones estacionarias del sistema dinámico que establece las condiciones óptimas del problema. Además se han establecido las tendencias en el comportamiento de las variables, índice de fertilidad del suelo, cantidad de fertilizante empleado por el agricultor y superficie que mantiene sin cultivar.

Una primera extensión del modelo en busca de uno que recoja de una forma más realista el comportamiento de los rendimientos con la cantidad de fertilizante utilizada por el agricultor, pasa por incorporar éstos a través de una función que verifique la ley de rendimientos decrecientes y que sustituya a la lineal considerada en este análisis.

5.- BIBLIOGRAFÍA.

- [7] ARANDA MARTÍN, D.: "La información Estadística Económica sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales", Información Comercial Española. Revista de Economía., Economía y Medio Ambiente. n. 711. Noviembre 1992. pags. 79-85.
- [9] ARANDA MARTÍN, D.: "La Contabilidad del Medio Ambiente y los Recursos Naturales", Economistas, España. Un Balance. n. 55-Extra. 1992. pags. 421-429.
- [20] BARRETT, S.: "Optimal Soil Conservation and the Reform of Agricultural Pricing Policies", Journal of Development Economics, n. 36. 1991. pags. 167-187.
- [18] BEAVIS, B. y DOBBS, M.: "The Dynamics of Optimal Environmental Regulation", Journal of Economic Dynamics and Control, n. 10. 1986. pags. 415-423.
- [6] BERGSTRÖM, S.: "Value Standards in Sub-Sustainable development. On limits of Ecological Economics", Ecological Economics, vol 7. n. 1. Febrero 1993. pags. 1-18.

- [10] COSTA VILAMAJÓ, J.: "Agricultura Sostenible", El Campo. Boletín de Información Agraria, n. 117. Julio-Septiembre 1990. pags. 5-14.
- [17] FARRELL, K y CAPALBO, S.: "Recursos Naturales y Dimensiones de los Efectos del Desarrollo Agrario sobre el Medio Ambiente", Revista de Estudios Agro-Sociales, n. 137-Extra. Septiembre 1986. pags. 49-64.
- [16] GARCÍA CALLEJA, A.: "Técnicas de Cultivo en la Agricultura Sostenible. Experiencias en Castilla-León", El Campo. Boletín de Información Agraria, n. 117. Julio-Septiembre 1990. pags. 36-38.
- [14] GIRÁLDEZ, J.V., GONZÁLEZ, P. y FERERES, E.: "Conservación Agrícola de Suelos y Aguas", El Campo. Boletín de Información Agraria, n. 117. Julio-Septiembre 1990. pags. 15-20.
- [12] GONZÁLEZ SÁNCHEZ-DIEZMA, J.M.: "Impacto Ambiental del Laboreo de Conservación", El Campo. Boletín de Información Agraria, n. 117. Julio-Septiembre 1990. pags. 10-14.
- [8] GOODLAND, R. y DALY, H.: "Cuatro Pasos hacia la Sostenibilidad Medioambiental Mundial", Desarrollo, n. 22. 1993. pags. 48-61.
- [19] KIM, C., MOORE, M. y HANCHAR, J.: "A Dynamic Model of Adaptation to Resource Depletion: Theory and an Application to Groundwater Mining", Journal of Environmental Economics and Management, n. 17. 1989. pags. 66-82.
- [1] KOLSTAD, C.D. y KRAUTKRAEMER, A.: "Natural Resource Use and the Environment", Handbook of Natural Resource and Energy Economics, vol. III. North-Holland. Amsterdam. 1993.
- [5] MUNASINGHE, M.: "The economist's Approach to Sustainable Development", Finance and Development, vol. 30. n. 4, Diciembre. 1993. pags. 16-19.
- [22] PERRINGS, C.: "Stress, Shock and the Sustainability of Resource Use in Semi-Arid Environments", Annals of Regional Science, vol. 28. n. 1, 1994. pags. 31-54.
- [11] SAN JUAN, C.: "Medio Natural y Orientación Productiva: Indicadores Económicos-Financieros", Revista Española de Financiación y Contabilidad, vol. XXII. n. 75, 1993. pags. 347-365.
- [15] SANZ DONAIRE, J. y GARCÍA RODRÍGUEZ, P.: "Desertificación, erosión y degradación del suelo", Situación. B.B.V., n. 2. 1991. pags. 55-71.
- [3] SÖDERBAUM, P.: "Economía y Ecología: Discusión sobre Conceptos de Desarrollo", Revista de Estudios Agro-Sociales, n. 137-Extra. Septiembre 1986. pags. 65-75.
- [13] SUMPSI VIÑAS, J.M.: "Agricultura y Medio Ambiente", Revista Española de Financiación y Contabilidad, vol. XXII. n. 75, 1993. pags. 367-395.
- [2] "Sustainability, resources and region". Monográfico. The Annals of Regional Science. An International Journal of Urban, Regional and Environmental Research and Policy, vol. 28, n. 1. Marzo 1994.
- [21] VAN KOOTEN, C.: "Bioeconomics Evaluation of Government Agricultural Programs on Wetlands Conversion", Land Economics, vol 69. n. 1. Febrero 1993. pags. 27-38.
- [4] ZEKRI, S.: "La Contaminación Agraria Difusa del Regadío: Algunas Reflexiones", Revista de Estudios Agro-Sociales, n. 153. Julio-Septiembre 1990. pags. 93-118.