

## Modelos de flujo de energía en la ordenación rural de la cuenca del Ebro

Lugo A.E., Patino Ruiz M., Mayoral Gomez O., Pizarro Camacho D., Gomez Cebrian J., Juarez Cardona F., Brun Rodrigo J., Maluquer Amoros A., Lain Alonso M.P., Khalil Abd-Allah I., Caluo J.

Energy flow in the Ebro basin

Paris : CIHEAM

Options Méditerranéennes : Série Etudes; n. 1983-II

1983

pages 39-71

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI010867>

To cite this article / Pour citer cet article

Lugo A.E., Patino Ruiz M., Mayoral Gomez O., Pizarro Camacho D., Gomez Cebrian J., Juarez Cardona F., Brun Rodrigo J., Maluquer Amoros A., Lain Alonso M.P., Khalil Abd-Allah I., Caluo J. **Modelos de flujo de energía en la ordenación rural de la cuenca del Ebro.** *Energy flow in the Ebro basin.* Paris : CIHEAM, 1983. p. 39-71 (Options Méditerranéennes : Série Etudes; n. 1983-II)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

# Modelos de Flujo de Energía en la Ordenación Rural de la Cuenca del Ebro

## INTRODUCCION

La tasa de dispersión de la población, en las áreas rurales, aumenta conforme los recursos energéticos mundiales escasean y esta escasez de energía aumenta el alto costo de mantenimiento de las grandes aglomeraciones urbanas. Sin los carburantes fósiles, el asentamiento en el medio rural debe y puede adaptarse rápidamente a los recursos energéticos disponibles localmente y alcanzar unas condiciones viables y estables. Será necesario realizar ajustes de densidad de poblaciones y de intensidad de las actividades para asegurar el desarrollo de dichas condiciones estables en las zonas rurales. Existe, de cualquier modo, durante la fase de transición el peligro de que la disponibilidad de combustible fósil residual, el uso intensivo de la tecnología y unas aspiraciones poco realistas, puedan encaminar mal el desarrollo rural. Es posible que en las zonas rurales se intente utilizar los mismos conceptos de desarrollo que fracasaron en las grandes ciudades, concebidas con vistas al crecimiento urbano, sin darse cuenta que en ambientes con limitaciones en cuanto a la energía, un sistema eficaz y estable debiera prevalecer sobre sistemas despilfarradores transitorios.

La tarea con que se encuentra el planificador rural es la de planificar unas condiciones rurales futuras de estabilidad, sin causar desequilibrios irreversibles durante el período de transición. Esto supondrá la utilización racional de los combustibles fósiles y el uso juicioso de tecnología de nivel medio. La posible consecuencia de un fracaso en este tema supondría la alteración irreversible del medio rural. Si el uso de la tierra y los recursos, durante el período de transición, condujera a tal alteración, las condiciones de

estabilidad rural tendrían una capacidad de transporte menor.

El peligro de sobre-explotación de los recursos y la consecuente reducción de la capacidad de transporte es especialmente crítica en los países Mediterráneos, en que la escasez de agua es uno de los principales factores limitantes de la capacidad de transporte natural del ambiente. Por ejemplo, el período de transición podría conducir a unos planes de cultivo excesivo de la tierra, salinización de ésta y deterioro de la calidad del agua. Posteriormente, sin el apoyo de combustibles fósiles, o si los recursos energéticos alternativos proveyesen menos energía a los hombres, no podría restaurarse adecuadamente la calidad original de las tierras y el agua. Su valor y utilidad se perderán durante mucho tiempo, puesto que los procesos naturales de recuperación son inherentemente lentos y la capacidad de recuperación de estos recursos puede haber sido afectado adversamente por el uso excesivo de la tecnología.

Se necesitan una serie de instrumentos para planificar y llevar a cabo el uso racional de la tierra y los recursos naturales mientras todavía estén disponibles los combustibles fósiles para realizarlo, porque no sabemos si las futuras fuentes de energía serán tan abundantes y con un rendimiento energético tan neto como fueron los combustibles fósiles.

Unas medidas adecuadas asegurarán una sociedad más sana y con una estabilidad más duradera en ausencia de dichos combustibles. El objetivo de este trabajo es el comienzo de un debate sobre la aproximación de sistemas en la ordenación rural en el Mediterráneo. Este trabajo proviene del «Ciclo del

agua» del curso internacional interdisciplinario de Ordenación Rural y Medio Ambiente en el área Mediterránea, impartido en Zaragoza en el Instituto Agronómico Mediterráneo en 1978. La ordenación, desde el punto de vista sistemático, supone la definición de un modelo regional, su cuantificación en unidades equivalentes, su simulación en computador, la validación del modelo y decidir utilizándolo como instrumento principal en la evaluación de los impactos regionales en cuanto a la política de localización de recursos y la solución a los problemas de gestión.

En este trabajo se han tratado únicamente las dos primeras etapas, con datos sobre la Cuenca del Río Ebro en España. Esta primera etapa es, desde luego, imperfecta, debido a la escasa información y a lo conflictivo de los datos sobre la región. Nuestro deseo es comenzar la tarea de unificar la investigación, que hasta el momento no estaba coordinada. El simple hecho de definir un modelo regional, actúa ya como instrumento de planificación en el sentido de que fuerza a identificar los sectores que comprende la región, las fuerzas responsables de su funcionamiento y sus interrelaciones. El modelo identifica también los datos necesarios y sirve, por consiguiente, como instrumento de planificación.

Durante nuestro esfuerzo por hacer una evaluación del modelo de la Cuenca del Ebro, encontramos lagunas en los datos y valores ambiguos para un mismo proceso o variable. Por esta razón, fue necesario hacer muchas suposiciones para completar la evaluación del modelo. A pesar de la clara deficiencia de datos, la relación de valores dada, se acerca suficientemente a los valores reales, o calculados al menos dentro del orden de magnitud correcto. Son los mejores datos disponibles contando con la limitación de tiempo que impone la duración del curso.

Los modelos regionales del tipo mencionado aquí, obedecen a las leyes básicas de la energía y la materia, y las lagunas en los datos pueden calcularse aproximadamente, por tanto, con cierto grado de exactitud. Esto es especialmente significativo para la ordenación rural, puesto que aquí los bancos de datos no son nunca tan completos como aquellos de que disponen las áreas urbanas de los países desarrollados. Los principios energéticos y las técnicas que forman parte de los modelos se describen en detalle en Odum (1971 y 1978) y Odum y Odum (1976). Por lo cual solamente se indicará a continuación un breve resumen de los principios más importantes. Todos los símbolos vienen explicados en la Fig. 1.

#### CONCEPTOS BASICOS

Indicamos a continuación una lista de las leyes naturales, conceptos, índices o puntos de importancia teórica que se utilizarán en el presente trabajo. Gran

parte de lo expresado aquí son citas directas de Odum (1973 y 1978).

1. Principio de conservación de la materia y la energía. Este es el principio de la termodinámica y expresa que en toda transformación de materia o energía, los inputs deben ser iguales a los cambios en almacenamiento más los outputs. (Fig. 2-a).
2. Principio de generación de entropía. Se conoce como segundo principio de la termodinámica, e implica que toda transformación de energía vaya acompañada de la conversión de parte de la energía potencial en una forma (calor o entropía), que no realice ya una función útil al sistema (Fig. 2-a).
3. La energía viene medida en calorías, BTU, kilovatios/hora, y otras unidades (convertibles), pero la energía posee una escala de calidad que estas medidas no indican. La capacidad de trabajo depende de la cantidad y calidad de la energía. Conforme la energía fluye por los compartimentos bióticos y abióticos de la biosfera, su *cantidad* disminuye de acuerdo al segundo principio de la termodinámica. Pero su *calidad* puede mejorar si la concentración de energía, en los compartimentos más bajos, aumenta en relación a la concentración previa en los compartimentos más altos. Por ejemplo, en una cadena de alimentos, la energía solar es transformada de radiación electromagnética difusa a energía química más concentrada en forma de azúcares.

Eventualmente, la energía contenida en los azúcares, puede concentrarse en madera, la cual puede, a su vez, formar carbón o transformarse en electricidad, si se concentrara más. El carbón y la electricidad son formas de energía de más alta calidad comparadas a la madera, azúcares o energía solar. Se puede, pues, calcular cuantas calorías de energía solar contiene una caloría de azúcar, cuantas calorías de azúcar se necesitan para obtener una caloría de madera o las que se necesitan para obtener una caloría de cualquier tipo. La Tabla 1 muestra algunas de estas tasas y la Figura 2-b ilustra el cálculo de las tasas de calidad de la energía, basado en los datos de la Figura 2-a.

4. Principio de la energía máxima. Expresa que la aptitud de los sistemas que maximizan el flujo de energía útil por unidad de superficie es mayor que los que no lo maximizan.
5. Concepto de selección natural. La selección natural es el proceso que determina la supervivencia de un sistema. Permite que los sistemas con un flujo más alto de energía útil por unidad de superficie, sean más eficaces que los de flujo energético más bajo.
6. Los flujos energéticos vienen delimitados por el segundo principio de la termodinámica, que limita la eficacia de transformación de la energía. Tras millones de años de evolución, se supone que los ecosis-

temas estables han llegado al punto en que el flujo máximo de energía útil se obtiene con la eficacia de transformación óptima. Un corolario de esta expresión es que, puesto que la energía solar es muy difusa, el coste energético inherente de concentrarla en una forma de energía útil a los humanos ya se ha maximizado en bosques y plantas alimenticias. Sin energía auxiliar no existe producción posible del sol, más que la forestal y agrícola a nivel familiar. Existe la hipótesis de que hay un coste energético mínimo para una transformación en potencia máxima. Ese coste representa un límite inherente a la termodinámica por debajo del cual no puede existir mejora. Se afirma, incluso, que los sistemas que han tenido un largo período evolutivo y de supervivencia bajo una fuerte competición, se han aproximado a sus límites termodinámicos.

7. Los principios energéticos se aplican a todos los sistemas de la naturaleza, incluidos las culturas, ciudades y civilizaciones humanas. Todos estos sistemas tienen características comunes que incluyen obtención de energía, transformación, almacenamiento, depreciación, etc. (Fig. 3).

8. El valor real de la energía para la sociedad es la energía neta, que es la cantidad remanente tras restar los costes de obtención y concentración (fig. 4). Muchas formas de energía son de grado bajo porque han de ser concentradas, transportadas, extraídas de la profundidad de la tierra o bombeadas desde grandes distancias en el mar. Gran parte de la energía tiene que usarse bien directa o indirectamente para el mantenimiento de la maquinaria, personal, sistemas de suministro, etc., que distribuyen tal energía. Si se usan 10 unidades de energía para distribuir otras 10 al punto de consumo, entonces no hay ganancia neta. Ahora se va más lejos, y se excava cada vez más profundamente a la búsqueda de energía que está cada vez más difusa entre las rocas. La luz del sol es también una energía difusa que necesita trabajo para captarla.

9. Incluso en las áreas urbanas, más de la mitad del trabajo útil en el que está basada nuestra sociedad proviene de los flujos naturales del sol, viento, aguas, olas, etc., que actúan sobre amplias áreas del mar y el paisaje, sin pago monetario (Fig. 2-c). Una economía que sea competitiva y pueda sobrevivir debe maximizar el uso de estas energías, y no destruir sus enormes subsidios gratuitos. La necesidad de inputs ambientales no se percibe hasta que han sido desplazados.

10. La tecnología ambiental que reproduce el trabajo disponible del medio ambiente natural potenciado por el sol es un hándicap económico.

11. Incrementar la eficacia energética con nuevas tecnologías, no es una solución desde el punto de vista de la energía, puesto que la mayoría de las innovaciones tecnológicas son realmente variaciones de energía barata con subsidios ocultos bajo forma

de estructuras de energía cara. Por ejemplo, Odum (1978), constató que una planta de tratamiento terciario de aguas residuales en Florida representaría una inversión de 100 cal. por cal. de productividad de zona costera. El paso de aguas residuales por una planta de tratamiento secundario y después por un pantano natural, cumpliría el mismo objetivo a un costo de 3,8 cal. por cal. de productividad de zona costera.

12. Fuentes de energía, marginales en este momento, que se mantienen por medio de subsidios ocultos basados en el combustible fósil, se hacen menos económicas cuando tales subvenciones ocultas se eliminan. Este podría ser el caso de la energía nuclear.

13. La inflación mundial se produce, en parte, por la creciente división de los combustibles fósiles que deben usarse para obtener más combustibles fósiles y de otros tipos.

14. Una economía competitiva y con éxito debe usar su output neto de flujos de energía de mayor calidad para auxiliar los flujos naturales de calidad más pobre y para que el flujo de energía útil total por unidad de área se maximice.

## DISCUSION DE CONCEPTOS

El análisis energético de los ecosistemas, comienza dando valores numéricos a flujos y almacenamientos usando unidades de energía en equivalentes calóricos. Estas unidades de energía miden la cantidad de calor que puede producirse durante una transformación energética, si todo el potencial energético se transformase en calor. En estos diagramas, las calorías que entran al sistema deben corresponder a los outputs o almacenamientos. (Fig. 2-a). El paso siguiente consistiría en convertir todos los equivalentes calóricos en unidades de igual calidad energética. Esto es necesario dado que los equivalentes calóricos no miden la capacidad de trabajo de las sustancias, sino solamente su capacidad de generar energía calorífica. Para medir y comparar la capacidad de trabajo de muchas sustancias, su calidad o concentración de energía debe calcularse en unidades de calidad equivalentes. El cálculo de la calidad energética en función de la luz solar viene ilustrado en la Figura 2-b y las tasas, en la Tabla 1.

Algunas de las aplicaciones prácticas del análisis de energía incluirían:

1. La tasa de energía comprada de alta calidad que entra en una región respecto al flujo de energías naturales de baja calidad de la región (tasa de inversión en energía), puede usarse para analizar la dependencia de una región del suministro externo de energía de alta calidad. Los combustibles fósiles son los inputs normales de alta calidad, mientras que la luz solar, mareas, vientos, etc., son ejemplos de flujos energéticos naturales libres. En Estados Unidos, esta

tasa es del orden de 2,5 cal. de combustible fósil por cal. de energías naturales (Fig. 5), mientras que la tasa en el resto del mundo es de 0,3.

2. Cálculo de tasas de energía con el fin de evaluar el valor de amplificación de los factores limitantes del sistema. Calculamos este tipo de tasas de energía para evaluar los coeficientes de productividad primaria con y sin riego en la Cuenca del Ebro (Tabla 2). Estas tasas son indicadores útiles de la eficacia en la utilización de los recursos con diferentes estrategias tecnológicas.

3. Cálculo del valor monetario de la energía en la economía. Normalmente, al análisis económico no evalúa los procesos naturales porque los flujos monetarios se relacionan únicamente con las actividades humanas y resulta difícil demostrar que los procesos naturales estén subvencionando el mercado. De cualquier modo, la energía natural contribuye a la economía de una manera oculta que se muestra sólo cuando se introduce a la fuerza la tecnología con el fin de sustituir a los procesos naturales. El valor monetario de la energía es la tasa del flujo energético total (natural más comprada) por medio de la economía y el producto nacional bruto (PNE Fig. 5). Esta tasa ha permanecido relativamente constante en los E.E.U.U. desde 1880 si consideramos el dólar constante (Fig. 6).

## MODELOS DE LA CUENCA DEL EBRO

### MODELO SIMPLIFICADO

La Figura 7 muestra un modelo simplificado de la Cuenca del Ebro. La Cuenca viene representada por un rectángulo con inputs y outputs de energía y materiales. No se dan detalles del trabajo interior de la cuenca. Este tipo de diagrama constituye un primer paso en el proceso de conceptualización de la región. A la izquierda se muestran las energías naturales y compradas, que se introducen en la cuenca. Nótese que los flujos monetarios están asociados con los flujos de energía comprada pero no con los de energía natural. A la derecha se muestran los outputs de la región. El dinero y la energía fluyen siempre en direcciones opuestas (Fig. 1) y el dinero penetra en la región proporcionalmente al output de productos y servicios que salen de ella. Este modelo nos proporciona las bases para desarrollar un modelo más detallado de la región, en que se ven detalles de los subsistemas de la cuenca. Para calcular el input total de energía de la Cuenca del Ebro se supuso que el modelo de utilización de combustible fósil de la región era similar al del resto de España. Así pues, el input total de combustible fósil para España (Tabla 8) dividido por su superficie (Tabla 3), nos daba  $8.288 \times 10^8$  kcal/km<sup>2</sup>. Al multiplicarlo por la superficie de la Cuenca del Ebro (Tabla 3), se obtenía el valor indicado de  $7,09 \times 10^{13}$  kcal (Fig. 7). Se indican

otros valores numéricos en la Fig. 7, derivados de otros modelos más detallados tratados en la próxima sección.

### MODELO CONCEPTUAL INDICANDO LAS INTERACCIONES EN LA CUENCA DEL EBRO

En la Fig. 8 mostramos el modelo conceptual más detallado, desarrollado para su utilización como instrumento coadyuvante en la recogida de información sobre la región. Este modelo está compuesto de un cierto número de subsistemas. Estos son: 1) subsistema agrícola, que incluye ganado vacuno y otro tipo de animales; 2) ecosistemas naturales, 3) subsistema urbano, 4) subsistema industrial y 5) subsistema de riegos. En el proceso de interconexión de estos sistemas fue preciso añadir la regulación de aguas, un submodelo de uso de la tierra, inputs y outputs de energía, materiales, bienes y los diferentes lugares de almacenamiento en que se acumulan los productos provenientes de la actividad de los diferentes subsistemas. Estos almacenamientos incluyen productos naturales y agrícolas, bienes manufacturados, residuos y agua. Los flujos monetarios no vienen indicados en la Fig. 8 para evitar hacer el modelo demasiado complicado. De todos modos, como se mencionó anteriormente, el flujo monetario aparece en la dirección opuesta a los flujos energéticos asociados a las actividades humanas (Figs. 2-c y 7). Los flujos monetarios no están asociados a los procesos naturales. La Tabla 3 contiene algunos de los datos básicos recogidos con el fin de cuantificar los modelos de la región. Conforme se vaya introduciendo cada modelo, se irán proporcionando más datos y factores de conversión.

### SUBMODELO DE APROVECHAMIENTO DE LA TIERRA

Los datos sobre el aprovechamiento de la tierra en la Cuenca del Ebro no son abundantes (Tabla 4) y están resumidos en la Fig. 9. Existe un desacuerdo considerable a este respecto para la región. Se utilizó para la mayoría de los cálculos 85.000 km<sup>2</sup> como extensión total de la cuenca. No pudieron calcularse los coeficientes de cambio en los modelos de aprovechamiento de la tierra. Esto requería un análisis cuidadoso con fotografía aérea. Igualmente, no se pudo encontrar datos que permitieran calcular el coste de convertir una tierra con un determinado uso a otro diferente. En esta región de España, la transformación de tierra de secano (tierra sin irrigación) en regadío, supone unas técnicas de nivelación muy costosas y con gran consumo de combustible fósil. Los valores del coste de transformación de aprovechamiento de la tierra están basados en datos obtenidos para las llanuras de Puerto Rico. Allí, Lugo *et al* (1977) estimaron un costo de  $4,5 \times 10^5$  kcal/ha.año necesarias para convertir terrenos naturales en agrícolas y  $2,7 \times 10^9$  kcal/ha.año para convertir terrenos agrícolas en urbanos.

El coste de convertir terrenos agrícolas en naturales es nulo puesto que se basa en el input solar y la precipitación. En la Cuenca del Ebro, la práctica en terreno pobre puede conducir a la salinización, y por tanto, el coste de recuperación de la tierra aumenta. El proceso puede acelerarse si hay agua disponible para lixiviar las sales. De lo contrario, el coste de utilizar tierras pobres supondría un tiempo de recuperación más largo que el necesario, mediante una sucesión natural más lenta. Entretanto, los suelos salinizados son terrenos desperdiciados que en nada contribuyen al bienestar de la región, sino que por el contrario, agotan los recursos y oportunidades de la población.

#### SUBMODELO HIDRICO

El balance hídrico para la Cuenca del Ebro está indicado en la Fig. 10. Los valores de precipitación y caudal hídrico son los valores medios anuales. Las variaciones anuales fluctúan entre 8.000 y 31.000 hm<sup>3</sup>., para el caudal del río, debido a fluctuaciones de similar amplitud en la precipitación. Conforme el agua fluye por el valle es interceptada por numerosas presas (alrededor de 100). Estas presas se usan para generar electricidad y el agua para riego de zonas agrícolas.

La escorrentía de cada sector del modelo alcanza finalmente el mar Mediterráneo. La evapotranspiración supone un 71% de la lluvia de la región. Este valor ha aumentado por encima de los valores naturales, debido a las grandes superficies abiertas de agua en los pantanos, lo que incrementa el tiempo de permanencia del agua en la Cuenca y por lo tanto la posibilidad de evaporación.

#### SUBMODELO DE LOS ECOSISTEMAS AGRICOLA Y NATURAL

La Fig. 11 muestra un modelo combinado de los ecosistemas agrícola y natural. El diagrama indica que tanto el ganado vacuno como la fauna silvestre, realizan una considerable cantidad de trabajo en los sectores agrícola y natural del modelo. El trabajo humano en este sector no se conoce.

#### SUBMODELOS URBANO E INDUSTRIAL

Fue necesario depender, para la cuantificación de los submodelos urbano e industrial (Fig. 12), de los datos de input-output de otros submodelos de la región. La obtención de datos independientes para este sector de la Cuenca se hará prioritario en investigaciones posteriores. Por ejemplo, se necesita investigar más sobre la calidad del agua. En 1964, una encuesta en 1.117 municipios del área turística de la Cuenca del Ebro mostró que el 68,8% de las zonas tenían agua potable, en el 8,2% la calidad del agua era dudosa y en el 22,9% el agua no era potable.

#### MODELO COMPUESTO

La Figura 13 agrupa todos los submodelos en un solo diagrama, que realiza el papel que desempeña el agua en el área. Este modelo incluye agua, tierra, energía y equilibrio material de la zona. De estas cifras se pueden reunir datos para cuantificar el modelo simple de la Fig. 1. También añadimos información sobre el transporte de sedimentos, sales y DBO de la zona. Los datos de DBO incluyen transportes urbanos (Fig. 12), más DBO animal (Tabla 3).

Según los autores Jaime Fanlo y Aguilar (1967), la Cuenca del Ebro alcanza cotas máximas de pérdida de sedimentos del orden de 688m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.año. Esto equivale a 0,7 mm. de capa arable o 482 m/km<sup>2</sup>.año. El valor indicado en la Fig. 13 equivale a 693 metros/km<sup>2</sup>.año. En E.E.U.U., la carga promedio de sedimentos de un río se estimó en 220 m/km<sup>2</sup>.año (Leopold *et al.*, 1964).

Todos estos modelos se usarán ahora para entablar un debate sobre la dinámica de la Cuenca del Ebro, su potencial de desarrollo y sus límites en el crecimiento. A propósito del presente trabajo, el crecimiento y el desarrollo se definen como la intensificación por la población del flujo de energía por unidad de superficie, con valores superiores, asociados normalmente a los flujos de energía natural.

#### DEBATE

En el presente debate, se va a enfocar la atención en la Cuenca del Ebro y en España. Es necesario tratar de la totalidad del país ya que el desarrollo de una cuenca de las características de la del Ebro, viene dictaminado, hasta un punto considerable, por el comportamiento de un sistema mayor al que pertenece.

La Tabla 9 contiene estadística de población sobre España. Aunque crece la población, la tasa de crecimiento es baja (1%/año), el 61% de la población es urbana y sólo el 10% de la población es mayor de 64 años. Estas estadísticas y la esperanza de vida de 72 años, reflejan el vigor y la juventud de la población.

El consumo de alimentos de la población de la Cuenca del Ebro es, aproximadamente, de  $0,26 \times 10^{13}$  kcal/año (Fig. 12). Los sistemas natural y agrícola producen suficiente materia orgánica para satisfacer esta ingestión calórica, además de exportar  $1,5 \times 10^{13}$  kcal/año. El funcionamiento de estos sistemas está muy estrechamente relacionado con la disponibilidad de agua. La ecuación lineal que describe la relación entre la producción de la cosecha (y en kg/ha.año) y la precipitación (x en mm.) es  $y = 15x + 241$  ( $r^2 = 0,62$ ). Al aumentar la disponibilidad de agua se produce un incremento proporcional de la producción. La Tabla 2 resume el valor multiplicativo

del agua en una serie de sectores de la región. Tres puntos merecen especial atención:

1. En ecosistemas naturales y agrícolas, una utilización más eficaz del agua viene acompañada por una producción más baja. Por tanto, el resultado de una productividad primaria más alta provoca una evapotranspiración y utilización del agua mayores.
2. La mayor disponibilidad de agua incrementa la eficacia del uso de energía solar. Por tanto, un subsidio de alta calidad (agua) permite la concentración, con mayor eficacia, de una fuente de energía de menor calidad (energía solar).
3. El mayor valor multiplicativo del agua en agricultura, en relación a los sistemas naturales, es un reflejo del punto 2 mencionado anteriormente, y debería interpretarse con precaución. Los sistemas agrícolas están muy apoyados por las fuentes de energía de mayor calidad, en relación a los sistemas naturales, que tienen que contener y sobrevivir sin la intervención del hombre. Además, los sistemas naturales devuelven a otros sectores de la cuenca agua de alta calidad y prestan, asimismo, otros servicios que no se reflejan en la producción.

El trabajo de todos los sistemas energéticos de la Cuenca del Ebro, se refleja en la actividad económica de la región (Tabla 11). La producción orgánica total de estos sistemas supone el 14,6% de la producción agrícola española, y el beneficio económico representa el 2,6% del PNB de España. Esta alta productividad ha sido posible gracias al ingenioso desarrollo de los sistemas de riego y a la construcción de embalses. Estas actividades humanas ayudan a la productividad natural, pero tienen un precio. Los combustibles fósiles, la mano de obra y las pérdidas en la calidad del medio ambiente y la productividad orgánica, son algunos de los costos asociados a ellas (Fig. 14). No se pudo cuantificar el coste del desarrollo, funcionamiento, y mantenimiento de los masivos sistemas de regadío de la Cuenca del Ebro. Esta tendrá que ser otra idea prioritaria en cuanto al trabajo sobre esta región. Pero a juzgar por los beneficios obtenidos en forma de aumento en la producción agrícola (Tablas 2 y 11), es obvio que los beneficios justifican la inversión. Se debe esperar, de todos modos, que conforme la disponibilidad de llanuras sea más escasa, el costo de nivelación de terrenos y de irrigación aumente. Esto vendrá agravado por el hecho de que, al mismo tiempo, los combustibles fósiles no sólo se encarecerán, sino que serán más difíciles de obtener. En ese momento, el desarrollo continuado de proyectos hidráulicos puede no ser tan deseable como en el pasado. Se hace necesario un análisis de energía neta de futuros proyectos de desarrollo, que no pudieron hacerse en su momento, por falta de datos. Se dan en la Fig. 14 ciertos criterios dignos de consideración.

Los planes para el futuro desarrollo hidráulico de la Cuenca del Ebro, están tratados por el CESIE (1973) y por el Ministerio de Obras Públicas (1974). Este plan puede evaluarse cualitativamente al examinar la Fig. 15, en que aparece el balance hidráulico propuesto para el año 2000. Este plan propone también un control casi completo del flujo del Río Ebro, pero no existe previsión alguna sobre control de calidad del agua ni mantenimiento del complejo sistema que, indudablemente, se verá sujeto a una fuerte sedimentación y altos costes de mantenimiento.

Otros aspectos ambientales que requieren una cuidadosa atención son:

1. Pérdida en la productividad natural al destinarse más agua al consumo de la población.
2. Pérdida de la calidad del agua al impedirse que los ecosistemas naturales cumplan su función ecológica.
3. Aumento de la sedimentación y posible eutrofización al incrementarse las actividades agrícolas.
4. Efectos producidos aguas abajo, especialmente en el delta, en que una menor escorrentía significa un aumento en la salinización y los sedimentos ya no se formarán en el delta y se producirá una depresión segura de las pesquerías.
5. Mayor probabilidad de riesgo de la salud pública al disminuir la calidad del agua y aumentar la actividad humana.

Todos estos riesgos ambientales se traducen en una pérdida económica expresada por costos mayores de mantenimiento del crecimiento y actividades de la población y pérdidas en oportunidades económicas alternativas. Aún así, la amenaza más seria en el desarrollo continuado de la Cuenca del Ebro es el tema de la disponibilidad de energía.

Para comprender este tema, al igual que la función realizada por la Cuenca del Ebro, es necesario estudiar las regresiones expresadas en la Tabla 10 y Figuras 6 y 16. La Tabla 10 muestra que la vitalidad económica de la región (medida según el PNB, con la inflación como factor corrector), es una función lineal del input de combustible fósil. Cuando el PNB no se corrige con la inflación, se obtiene una correlación incompleta. La Fig. 16 ilustra que la relación se mantiene relativamente constante en períodos largos en los Estados Unidos.

El sistema económico proviene de dos fuentes de energía: energías de origen fósil y naturales (Fig. 5). En la Cuenca del Ebro la energía natural deriva de la energía solar e hidráulica. El conocimiento de la contribución relativa a ambas fuentes nos permitió calcular el porcentaje de inversión para España y para la Cuenca del Ebro. La Tabla 12 muestra este cálculo en unidades de energía equivalentes. El porcentaje es bajo comparado al que se atribuye para Estados Unidos, pero más alto que el promedio

mundial. Esto podría interpretarse como la existencia de un marco amplio para el desarrollo económico, dado que la región se ve afectada por la limitación de combustibles fósiles.

Como se explicó en el debate de conceptos, un país o región con bajo porcentaje de inversión tiene suficientes recursos energéticos naturales para resultar atrayente y competir con los combustibles fósiles, y de este modo, en el caso de España, la capacidad de sus energías de baja calidad para competir con los combustibles fósiles, se ve disminuida por la escasez de agua. El setenta y tres por ciento de la energía de baja calidad disponible en España es solar, y el campo no recibe suficiente agua para igualar este input de energía solar. Sin este equivalente inicial, no puede competir con los combustibles fósiles. El incremento constante del coste de los combustibles fósiles, debido a la escasez a nivel mundial, complica el asunto todavía más.

Se puede hacer una comparación entre España y otros países, para aclarar los factores que regulan el crecimiento y desarrollo de un país (Tabla 13). Los datos de la Tabla 13 vienen expresados en equivalentes calóricos, y por tanto no muestran la diferencia en calidad. La Tabla ilustra dos puntos. Primero, se muestra que en los países considerados subdesarrollados, hay un consumo considerable de combustibles fósiles, pero la eficacia en el uso de la energía es baja. Segundo, el porcentaje de dependencia del combustible fósil varía de 3 a 70%. Estos dos puntos tienen implicaciones que deben examinarse en el contexto de la rivalidad existente entre países referente a la energía y los recursos; y en el contexto de las consecuencias eventuales de la selección natural en estrategias alternativas en cuanto al uso de los recursos.

Los combustibles fósiles ya no están tan fácilmente disponibles en depósitos de gran riqueza. Sin estos combustibles fósiles, otros minerales y recursos importantes no pueden ser concentrados y puestos a disposición de la economía mundial. Además, no se espera que las reservas de combustible fósil duren más de unas cuantas décadas (Landsberg, 1973).

Sería poco realista esperar que los países que ahora son subdesarrollados elevaran su estandar de vida a niveles similares a los de los países occidentales (Fig. 16, Tabla 13). Puede que no quede suficiente energía para seguir funcionando. Además, la capacidad de utilizar y procesar la energía eficazmente, depende de las estructuras ya construidas para realizar esta función, y por tanto, los países desarrollados siempre serán más eficaces que los países en vías de desarrollo en la competencia por la energía y los recursos. Makhijani (1976) venía a decir lo mismo cuando sugería que la baja eficacia en el uso energético, mostrado en la Tabla 11, en los países subdesarrollados, será debida a la falta de tecnología. Aún así, la ventaja competitiva de los países occidentales

sobre los menos desarrollados proviene de su capacidad de igualar los combustibles fósiles con las energías naturales. En esencia, la eficacia en la utilización de la energía por la economía de cualquier país parece cambiar con la intensidad del desarrollo. La eficacia en la utilización energética, en los países más desarrollados, puede depender de la captación de energía de los sistemas naturales, puesto que el desarrollo tecnológico, altamente sofisticado, reduce la eficacia en la utilización energética al desperdiciar combustible fósil. En los países subdesarrollados, la eficacia en la utilización de energía, se ve limitada por la tecnología, porque la carencia de ésta no permite una utilización total de los combustibles fósiles y esto fuerza el uso de energía de alta calidad para realizar funciones que se llevarían a cabo más eficazmente con mejor tecnología o con sistemas naturales. El resultado es una baja eficacia en la utilización de energía.

La alternativa que les resta a los países menos desarrollados que tienen un excedente de energías naturales pero que carecen de combustibles fósiles, es el desarrollo de estos recursos energéticos naturales de forma que les permita alcanzar una ventaja competitiva sobre países ahora desarrollados. Si esto se hace apropiadamente, esta ventaja se hará más obvia cuando se hayan agotado los combustibles fósiles.

En el medio rural, se debiera tener cuidado de mantener un equilibrio entre el uso de la tecnología y la gestión de los recursos naturales, con objeto de maximizar la eficacia total del uso de energía y el flujo energético útil por unidad de superficie. Cuando esto suceda, la posición competitiva del medio rural alcanzará su punto álgido, y esta estrategia puede venir favorecida por una selección natural de las alternativas con uso energético menos competitivo. En la Fig. 17 se muestra un ejemplo de uso energético eficaz en una zona rural.

La Fig. 18 resume el concepto del esquema deseado. En este ejemplo, las energías naturales están acopladas a la economía principal mediante una economía intermedia que amortigua el impacto humano sobre los ecosistemas naturales. Mientras los ecosistemas naturales se sigan manteniendo en un estado «saludable», su contribución permitirá la captación y el acoplamiento de las energías externas de alta calidad, necesarias para el desarrollo. En la Cuenca del Ebro, la infraestructura y la adaptación cultural en los años del combustible pre-fósil, proveen una base de adaptación para una transición con éxito de una situación con alta utilización de combustible fósil, a un estado más bajo y estable de la región. Hoy, a pesar de la amenazante crisis energética, hay muchos que abogan por la mecanización agraria, continuación de planes de urbanización y planes de regadío poco realistas.

El antiguo sistema agrícola ha dejado tras sí una red de pequeñas ciudades y de infraestructura viaria que

facilitaría el retorno a la agricultura más tradicional y con menor consumo de energía en la región, sin necesidad de incurrir en excesivos gastos de desarrollo. Los sistemas de riego, que se conservan desde el tiempo de los árabes, están todavía intactos y en buen funcionamiento. Incluso las presas hidroeléctricas que se construyeron durante períodos de abundancia de combustibles fósiles, proporcionan ahora considerables cantidades de energía de alta calidad en forma de electricidad que, lógicamente, puede usarse localmente para complementar los recursos energéticos naturales. El uso de estos recursos y facilidades locales debiera ser prioritario sobre soluciones más exóticas que pueden colocar a la región en

una situación irreversible que podría eventualmente hacerla depender totalmente de la ayuda exterior.

En resumen, el análisis energético puede ser un arma útil en la planificación de una sociedad rural, como son las del área Mediterránea, para que tiendan a un estado estable. El esfuerzo de los planificadores por documentar los modelos presentados aquí, y manejarlos verdaderamente en el ordenador, realzará la capacidad de minimizar errores que con el tiempo causarían daños irreversibles a los ecosistemas locales y eliminarían así la posibilidad de alcanzar estados automantenibles.

# GLOSARIO DE TERMINOS

*Figura 1. Símbolos del análisis energético*

Energy source (forcing function), source of external cause.	Fuente de energía (función impulsora), fuente de causa externa.
Heat sink, outflow of used energy.	Absorción de calor, salida de energía utilizada.
Energy interaction, one type of energy amplifies energy of a different quality (usually a multiplier).	Interacción energética, un tipo de energía amplifica otra energía de diferente calidad (generalmente un multiplicador).
Economic transaction and price function.	Transacción económica y función de precio.
Storage (state function).	Almacenamiento (función de estado).
Circulating energy transformer with Michaelie-Menton kinetics (diminishing returns transfer function).	Transformador de energía circulante con cinética de Michaelie-Menton (función de transferencia de retorno decreciente).
On-off control work (digital actions).	Trabajo de control abierto-cerrado (acciones digitales).
Group symbols (1) autocatalytic self-maintenance units (2) production units, and (3) general purpose box for miscellaneous subsystem.	Símbolos de grupo (1) unidades autocatalíticas de automantenimiento (2) unidades de producción y (3) apartado de propósito general para inclusión de miscelánea de subsistemas.
Price.	Precio.
Depreciation.	Depreciación.

Figura 2. Forma típica de una red energética observada en países (a). La figura superior contiene las cifras de los equivalentes calóricos, incluidos para formar un diagrama que ilustre el primer principio de la termodinámica (b). La figura del centro es el mismo diagrama ilustrando factores cualitativos de la energía solar, señalados sobre los caminos; estas cifras se obtuvieron dividiendo los de la Fig. 2a por el input de energía solar requerido para mantener el sistema. La figura de abajo (c) es el mismo diagrama mostrando el flujo de dólares por medio de la línea punteada. Nótese que los dólares no fluyen por los sectores en que los ecosistemas naturales no tienen interacción directa con los humanos (Odum, 1978).

Calories heat equivalents per time.	Equivalentes calóricos en calorías por unidad de tiempo.
Energy cost quality factors ratio of (b) to (c).	Proporción de coste energético de factores de calidad de (b) a (c).
Calories solar per calorie heat.	Calorías solares por calor en calorías.
\$ Flow.	\$ Flujo.
\$ .05 per time.	\$ ,0.5 por unidad de tiempo.
Sun.	Sol.
Forest.	Bosque.
Agriculture.	Agricultura.
Humans.	Humanos.

Figura 3. Sub-unidad típica observada en todos los sistemas. Nótese el almacenamiento, depreciación, feedback, y el proceso de producción (trabajo de transformación).

Energy source.	Fuente de energía.
Storage, Structure, Energy Information.	Almacenamiento, Estructura, Información energética.
Production.	Producción.
Heat loss.	Pérdida calórica.
Maintenance.	Mantenimiento.
Depreciation.	Depreciación.
Entropy increase.	Incremento de la entropía.

Figura 4. Diagrama del flujo de energía en que se ilustran los principios de la energía y la diferencia entre flujos energéticos neto y bruto. La energía neta de la transformación del flujo denominado «uso bruto de la energía», en el flujo denominado «conversión neta de energía» es igual a la conversión neta de energía menos el flujo denominado «trabajo de obtención y concentración de energía» (Odum, 1973).

Energy source.	Fuente de energía.
Work in getting energy and concentrating it.	Trabajo para obtener energía y concentrarla.
Gross use of energy.	Uso energético bruto.
Net conversion of energy.	Conversión energética neta.
Storage.	Almacenamiento.
Necessary depreciation.	Depreciación necesaria.
Net yield of energy.	Rendimiento energético neto.

Figura 5. Flujo de energía y circulación monetaria en Estados Unidos en 1973 (Odum y Odum, 1976).

$$\frac{\text{Flujo total de energía}}{\text{PNB}} = \frac{35 \times 10^{15} \text{ kcal/año}}{1,4 \times 10^{12} \text{ dólares/año}} = 25.000 \text{ kcal/\$ (1973)}$$

$$\text{Coeficiente de inversión} = \frac{\text{Fuente de energía comprada}}{\text{Fuentes de energía natural}} = \frac{25 \times 10^{15}}{10 \times 10^{15}} = 2,5$$

Energy from the sun.	Energía proveniente del sol.
World fuel reserves.	Reservas mundiales de combustible.
Assets of United States.	Reservas de Estados Unidos.

Figura 6. Relación entre el flujo de dólares y el flujo de energía en la economía de los E.E.U.U. en un período de casi 100 años. Cuando se corrige respecto a la inflación parece permanecer constante. Esta figura es de un informe no publicado del Consejo de Calidad del Medio Ambiente.

Relationship between Gross National Product, measured in constant 1958 and current dollars, and energy consumption, 1875-1976.	Relación entre el Producto Nacional Bruto, medido en dólares 1958 constantes y dólares actuales, y consumo de energía, 1875-1976.
GNP in constant 1958 dollars.	PNB en dólares constantes 1958.
GNP in current dollars.	PNB en dólares actuales.
GNP.	PNB.
Energy consumption E (10 <sup>15</sup> kcal/yr.).	Consumo energético E (10 <sup>15</sup> kcal/año).

*Figura 7. Macro-minimodelo de la Cuenca del Ebro. Se muestran sólo los inputs y outputs. Las fuentes de energía comprada están agrupadas, al igual que las fuentes naturales. Los detalles de los cálculos de energía se indican en otras Tablas y Figuras y están tratadas en el texto.*

Purchased energy.	Energía comprada.
Fossil fuels.	Combustibles fósiles.
Manufactured goods.	Bienes manufacturados.
Money.	Dinero.
Food.	Alimentos.
Human labor and services.	Mano de obra y servicios.
Natural energies.	Energías naturales.
Sun.	Sol.
Rainfall.	Precipitación.
Ebro River Watershed.	Cuenca del Ebro.
Water vapor.	Vapor de agua.
Water Runoff.	Escorrentía.
Agricultural products.	Productos agrícolas.
Natural products.	Productos naturales.
Manufactured products.	Productos manufacturados.
Sediments.	Sedimentos.
Heat.	Calor..

*Figura 8. Diagrama general de todos los subsistemas de la Cuenca del Ebro. Este modelo se usó como instrumento para la ordenación en la recogida de datos y en el debate. Los detalles y documentación de los flujos y almacenamientos se indican en otras Tablas y Figuras que están discutidos en el texto.*

Fossil fuels.	Combustibles fósiles.
Rainfall.	Precipitación.
Land.	Tierra.
Agricultural systems.	Sistemas agrícolas.
Sun.	Sol.
Natural systems.	Sistemas naturales.
Irrigation systems.	Sistemas de regadío.
Water.	Agua.
Work & Productos from Urban and Industrial Systems.	Trabajo y Productos de Sistemas Urbanos e Industriales.
Exports.	Exportaciones.
Agricultural & Natural Products.	Productos Naturales y Agrícolas.
Cattle and Wildlife.	Ganado y Fauna silvestre.
Salinized lands.	Terrenos salinizados.
from Natural & Agricultural.	de Natural y Agrícola.
Sediments.	Sedimentos.
Urban system.	Sistema urbano.
Industrial System.	Sistema industrial.
Spanish economy.	Economía española.
Manufactured goods.	Bienes manufacturados.
Wastes.	Residuos.
Runoff.	Escorrentía.
Evapotranspiration.	Evapotranspiración.

Figura 9. Modelo de aprovechamiento de la tierra en la Cuenca del Ebro. Los inputs de combustible fósil se han tomado de Lugo et al. (1977). Los datos sobre el aprovechamiento de la tierra provienen de la Tabla 4 y de Jordana de Pozas (1973). El input de energía lumínica está extraído de la Tabla 6 y la precipitación de la Tabla 3.

Sunlight and Rainfall.	Luz solar y precipitación.
Day.	Día.
Month.	Mes.
Natural lands.	Terrenos naturales.
Fossil fuels.	Combustibles fósiles.
Agricultural lands.	Terrenos agrícolas.
Urban and Industrial lands.	Terrenos urbanos e industriales.
Salinized lands.	Terrenos salinizados.
Salinity Drought, and Poor land use.	Sequía salina y aprovechamiento pobre de la tierra.

Figura 10. Equilibrio hídrico de la Cuenca del Ebro en que se ilustran los flujos energéticos asociados a los hídricos. Los datos sobre el equilibrio hídrico están tomados del CESIE (1973). El potencial energético del agua fue calculado por Odum (1970). El input de combustible fósil se volvió a calcular a partir de la producción eléctrica (obtenida de Reguart Monreal, 1971) y de una central eléctrica con un rendimiento del 37% (Tabla 3). La pérdida de energía por evaporación del agua se calculó en 550 g. cal/g.

Fossil fuel.	Combustible fósil.
Rainfall.	Lluvia.
Reservoirs and natural systems.	Embalses y sistemas naturales.
Agriculture.	Agricultura.
Industry.	Industria.
Urban.	Urbano.
Runoff.	Escorrentía.
Electricity.	Electricidad.
Sun.	Sol.
Water vapor.	Vapor de agua.

*Figura 11. Modelo de producción agrícola y forestal en la Cuenca del Ebro. La Tabla 5 resume algunas de las suposiciones que se utilizaron en la cuantificación de este modelo que viene tratado en el texto.*

Rainfall and Runoff.	Precipitación y escorrentía.
Fossil fuels.	Combustibles fósiles.
Fertilizers.	Fertilizantes.
Sun.	Sol.
Water.	Agua.
Agricultural systems.	Sistemas agrícolas.
Forest and Range.	Bosques y pastos.
Water vapor.	Vapor de agua.
Cattle.	Ganado.
Wool, honey and wax: Trace.	Lana, miel y cera: Vestigios.

*Figura 12. Resumen de inputs y outputs al sector urbano e industrial de la Cuenca del Ebro. El diagrama se explica en el texto.*

Other products.	Otros productos.
Water.	Agua.
Sun.	Sol.
Fossil fuels.	Combustibles fósiles.
Agricultural products.	Productos agrícolas.
Wood.	Madera.
Urban and Industrial system.	Sistema urbano e industrial.
Metabolism.	Metabolismo.
Heat.	Calor.
Water vapor.	Vapor de agua.
Work.	Trabajo.
Runoff.	Escorrentía.
Other exports.	Otras exportaciones.

Figura 13. Modelo de la Cuenca del Ebro ilustrando la función que desempeña el agua en una serie de sectores. El texto explica el modelo y las fuentes de origen de los datos.

Rainfall and runoff	Precipitación y escorrentía.
Reservoir.	Embalse.
Fuel and fertilizer.	Combustible y fertilizante.
Agricultural system.	Sistema agrícola.
Sun.	Sol.
Natural system.	Sistema natural.
Sediments.	Sedimentos.
Salts.	Sales.
Fossil fuels.	Combustibles fósiles.
Urban system.	Sistema Urbano.
Industrial system.	Sistema industrial.
Wastes.	Residuos.
Vapor.	Vapor.

Figura 14. Diagrama conceptual que ilustra las ganancias y pérdidas asociadas con el desarrollo de estructuras de control hídrico en la Cuenca del Ebro. Los dos beneficios principales son la electricidad y el aumento de la productividad agraria. Los costos incluyen gasto en combustible fósil para el desarrollo y mantenimiento, mano de obra, pérdida de agua asociada al sistema (incluidas pérdidas debidas al deterioro de la calidad del agua), dedicación irreversible de la tierra, y tensión ambiental, incluida la reducción de la productividad natural y los efectos de aguas abajo en el delta del río y sus estuarios.

Fossil fuels for maintenance.	Combustibles fósiles para mantenimiento.
Human labor.	Mano de obra.
Fossil fuels for construction.	Combustibles fósiles para la construcción.
Water.	Agua.
Land.	Tierra.
Water control structures.	Estructuras para control del agua.
Depreciation.	Depreciación.
Multiplier value of water.	Valor multiplicativo del agua.
Electricity.	Electricidad.

Figura 15. Balance hídrico esperado para la Cuenca del Ebro en el año 2000.

Water balance for the Ebro River Basin for the year 2000 in  $hm^3/year$ .

Balance hídrico de la Cuenca del Ebro para el año 2000 en  $hm^3/año$ .

Rain.	Lluvia.
Domestic.	Doméstico.
Industrial.	Industrial.
Agricultural.	Agrícola.
Evaporation.	Evaporación.
Runoff.	Esorrentía.

Figura 16. Relación entre Producto Nacional Bruto (PNB/cápita) y el consumo total de energía/cápita para varios países (Odum, 1971).

Commercial energy consumption  
(millions of Btu per capita)

Consumo de energía comercial  
(millones de Btu per cápita)

GNP (dollars per capital).

PNB (dólares por capital).

*Figura 17. Flujo de energía en un pueblo hipotético en que las energías naturales están acopladas a una tecnología intermedia (Makhijani, 1976).*

Rainfall	Precipitación.
Water.	Agua.
Wind.	Viento.
Solar drying.	Desecación solar.
Terrestrial system.	Sistema terrestre.
Draft work.	Trabajo de transporte.
Products and residue.	Productos y residuo.
Export.	Exportación.
Work.	Trabajo.
People.	Población.
Animals.	Animales.
Towns.	Ciudades.
Goods and machines.	Bienes y maquinaria.
Fuel.	Combustible.
Surplus for other uses.	Superavit para otros usos.
Plant.	Plantas.
Fertilizer.	Fertilizante.
Fertilizer stock.	Existencias de fertilizante.

Table 8. Relationship between fossil fuel energy use in Spain and gross national product. Energy values are from the Shell Oil Co. And economic data and energy values in parenthesis are from Tames (1977).

Year	Gross National Product		Fossil Fuel Input kcal × 10 <sup>13</sup>
	1969 Pesetas × 10 <sup>9</sup>	Current Pesetas × 10 <sup>9</sup>	
1958	1043.3	581.8	4.77
1959	1037.5	603.4	4.61
1960	1052.2	620.4	4.56 (23.67)
1961	1172.5	706.6	5.16 (23.69)
1962	1279.2	816.7	6.19 (25.42)
1963	1396.2	963.9	7.28 (28.20)
1964	1475.5	1088.0	8.83 (29.45)
1965	1577.4	1287.0	10.74 (30.0 )
1966	1699.5	1477.3	12.23 (32.23)
1967	1776.5	1632.1	14.68 (34.95)
1968	1874.8	1804.9	17.18 (37.50)
1969	2011.7	2011.7	18.73 (39.74)
1970	—	2258	21.86 (41.73)

Table 9. Some statistics about Spain taken from the 1977 world population data sheet of the Population Reference Bureau, Inc.

Parameter	Value
Population Estimate	36.5 million
Birth Rate	18/1,000
Death Rate	8/1,000
Rate of Natural Increase	1%
Number of years to Double the Population	69
Population Under 15 Years	28%
Population Over 64 Years	10%
Life Expectancy at Birth	72
Urban Population	61%
Per Capita Gross National Product	\$2,700

Table 6. Solar radiation measured at Zaragoza.

Month	Solar Energy* kcal/m <sup>2</sup> .day
1973	
September	5227
October	3895
November	2049
December	1743
1974	
January	2108
February	3158
March	3872
April	6085
May	6925
June	7123
July	7690
August	6721
Mean	4716

\*Heat equivalents.

Table 7. Inputs and yields of the range industry\* in the Ebro River Basin. The total cattle equivalent population of consumers is  $1,17 \times 10^6$  animals which require an annual input of  $4,14 \times 10^9$  units of nourishment (UN)\*\*. All data from Zarazaga Burillo (1971). Value in parenthesis is the assumed dry weight.

Inputs		Yields	
Source	Amount	Type	Amount (fresh weight)
Cultivated lands	$2.83 \times 10^9$ UN	Meat (20%)	$27.20 \times 10^4$ mt
Other lands	$1.04 \times 10^9$ UN	Work	$20.75 \times 10^6$ obradas***
Straw	$0.47 \times 10^9$ UN	Milk	$31.90 \times 10^7$ liters
Total food	$4.37 \times 10^9$ UN	Eggs	$10.98 \times 10^7$ dozen
Human labor		Dung (5%)	$79.12 \times 10^5$ mt
Other subsidies		Wool	$43.73 \times 10^5$ kg
		Honey	$13.48 \times 10^2$ mt
		Wax (30%)	62 mt

\*Based on the following inventory of animals: 284,479 heads of cattle; 3,996,417 lambs; 1,007,058 pigs; 26,201 horses; 79,640 mules; 25,387 asses; 180,647 goats; 7,553,866 chickens; 823,553 rabbits; and 58,102 bee hives. The standing crop of cattle, lambs, and pigs was 44,4 kg/ha. Total standing crop for consumers was 51.6 kg/ha.

\*\*UN was calculated from ratios of UN/Qm of green tissue (ratio equal to 16). 1 UN equals  $2.5 \times 10^3$  kcal heat equivalents.

\*\*\*1 obrada equals 8 hr.

# T A B L A S

Tabla 1. Conversiones de la calidad de energía (Odum y Odum, 1976 y Odum, 1978)

Tipo de Energía	Equivalencia en combustible fósil (kcal/kcal)
Solar	0,0005
Productos de productividad bruta	0,05
Madera	0,5
Carbón	1,0
Combustible fósil	1,0
Electricidad	4,0
El dólar	25.000,0
Tipo de Energía	Equivalencia solar (kcal/kcal)
Energía solar en la superficie terrestre	1,
Aire húmedo tropical	3,3
Vientos	315,
Fotosíntesis bruta	920,
Carbón	2027,
Marea	3400,
Agua: Energía de lluvia mundial sin químicos	3215,
Potencial de lluvia en la tierra, 875 m	3870,
Potencial organizado en los ríos	10.950,
Energía de potencial químico en la tierra	15.320,
Electricidad	7200,
Servicio humano en el mundo	257.000,
Servicio humano en U.S.A.	418.000,
Trabajo para mejora de la tierra	$9,2 \times 10^{11}$

Tabla 2. Función del agua como multiplicador de productividad primaria en la Cuenca del Ebro. Cuando se usa para generar electricidad 1 kcal de energía potencial del agua de un salto, genera 0,2 kcal de energía (Fig. 13). Todos los valores para la energía vienen expresados en equivalentes calóricos.

Inputs anuales		Tipo de Agricultura	Rendimiento	Eficacia (Rendimiento/Input)
Agua (mm)	Energía Solar kcal/m <sup>2</sup>		kcal/m <sup>2</sup>	
410 (lluvia)	16,8 × 10 <sup>5</sup>	Secano (todas cosechas)	556,	Uso del agua: 1,35 kcal/mm Uso de la energía solar: 0,03 %
1410 (lluvia más riego)	16,8 × 10 <sup>5</sup>	Regadío* (todas cosechas)	1240,	Uso del agua: 0,88 kcal/mm Uso de la energía solar: 0,07 %
1273	16,8 × 10 <sup>5**</sup>	Secano (Trigo**)	171**	Uso del agua: 0,13 kcal/mm Uso de energía solar: 0,10 %
Productividad Agrícola***				
Rendimiento neto				1,86 kcal/mm
Rendimiento bruto				12,39 kcal/mm
Productividad natural***				
Rendimiento neto				0,51 kcal/mm
Rendimiento bruto				5,92 kcal/mm

\*Maestro Palo, 1971.

\*\*Media de 20 cosechas entre el 1 de Julio y el 30 de Junio, 1955-1975 (Alberto y Machin, 1977).

\*\*\*De la Figura 11.

Tabla 3. Lista de datos utilizados en la cuantificación de modelos.

Parámetro	Valor	Fuente
Superficie de España	503.478 km <sup>2</sup>	Tamames, 1977
Superficie de la Cuenca del Ebro	85.550 km <sup>2</sup>	Tamames, 1977
Media de precipitación para el Valle del Ebro (más alta en las montañas)	35 mm/month 36,4 mm/month	Tamames, 1977 Alberto y Machin, 1977
Descarga anual del Ebro	17.000 hm <sup>3</sup> (variación: 8.000-31.300 hm <sup>3</sup> )	CESIE, 1973
Población Española (1970)	34.032.000	Tamames, 1977
Consumo de gasolina de los tractores	8 l/h	Miguel Blasco, Comunicación personal
Trabajo de los tractores	1.500 h	Miguel Blasco, Comunicación personal
Número de tractores	25.015	Jordana de Pozas, 1973
Eficacia de las centrales eléctricas	37 %	C. Hall, Comunicación personal
Población de la Cuenca del Ebro	2.360.000	Bovio Fernández, 1971
Equivalentes de población de la Cuenca del Ebro	5.360.000	Bovio Fernández, 1971
Carga DBO per capita y por día (80 % es industrial)	65 g	Carriello Queralto, 1971
Media de consumo de agua por el riego	10.000 m <sup>3</sup> /ha	CESIE, 1973
Fertilizantes usados en España (N, P, y K.)	37 kg/ha	Jordana de Pozas, 1973
Número de cosechadoras	2.611	Jordana de Pozas, 1973
Consumo de gasolina de las cosechadoras	12 l/hr	Miguel Blasco, Comunicación personal
Horas trabajadas por las cosechadoras	750 h/año	Miguel Blasco, Comunicación personal
Energía calorífica de combustible diesel usado por cosechadoras y tractores	19.000 btu/lb	Shell Co. folleto
Calidad del agua del río Ebro aguas abajo Zaragoza:		
Sedimentos	350 mg/l	Records de la Planta de Tratamiento de aguas de Zaragoza
CaCO <sub>3</sub>	100 mg/l	Bovio Fernández, 1971
NaCl	30 mg/l	Bovio Fernández, 1971

Table 4. Aprovechamiento de la tierra en la Cuenca del Ebro en 1965. Los valores entre paréntesis representan datos de 1970. (Jordana de Pozas, 1973; Zarazaga Burillo, 1971).

Categoría	Superficie (ha × 10 <sup>3</sup> )	Porción dedicada al pastoreo (ha × 10 <sup>3</sup> )
Area Total Productiva	8.458,3	
Cultivada	3.326,2	
Secano*	2.710,8	(1.007,2)***
Regadío**	615,4 (639,3)	( 222,7)***
No cultivada	5.132,1	(4.254,6)***
Con pasto	4.345,5	
Sin pasto	786,6	
Area Improductiva	713,9	
Area Total	9.172,2	

\*El trigo representa un 75% del total.

\*\*El trigo representa un 50% del total.

\*\*\*Produce 2.832.961.800 unidades de alimento o  $0,71 \times 10^{13}$  kcal/año.

Table 5. Suposiciones usadas en la evaluación del modelo de agricultura y del ecosistema en la Fig. 11.

Modelo de Ecosistemas Agrícola y Natural
1. El input solar está basado en el uso de la tierra (Tabla 4) multiplicado por el promedio de radiación solar (Tabla 6). La diferencia de $732 \times 10^{13}$ con el valor indicado en la Fig. 7 se debe a un registro por duplicado de la evaporación de agua de los embalses.
2. Productividad de la agricultura: Eficacia utilizada de rendimiento neto del 0,03% y 0,07% para secano y regadío respectivamente (Tabla 2). Esta eficacia se multiplica por el input solar de estos campos, según su superficie respectiva (Tabla 4). Se supuso que el rendimiento neto era del 15% de la productividad bruta primaria. Esta suposición está basada en la agricultura americana subvencionada.
3. Productividad de los Bosques: El rendimiento neto supuesto era del 10% de la productividad bruta primaria. Esto está basado en resultados de otros ambientes xéricos en zonas templadas. Los rendimientos se calcularon según información de Jaime Fanlo y Aguilar (1967) para madera Tabla 7, para pienso de ganado y trabajo animal, y el balance se aplicó para fauna silvestre.
4. Toda la actividad relacionada con el ganado se contabilizó a partir de la información de la Tabla 7.
5. Las subvenciones agrícolas se calcularon a partir de los datos de la Tabla 3 para fertilizantes y consumo de combustible fósil de tractores y cosechadoras.
6. La regulación de aguas es la misma que la de la Fig. 10.

Table 6. Radiación solar medida en Zaragoza.

Mes	Energía solar* kcal/m <sup>2</sup> .día
1973	
Septiembre	5227
Octubre	3895
Noviembre	2049
Diciembre	1743
1974	
Enero	2108
Febrero	3158
Marzo	3872
Abril	6085
Mayo	6925
Junio	7123
Julio	7690
Agosto	6721
Media	4716

\*Equivalentes calóricos

Table 7. Inputs y rendimientos del manejo de pastos\* en la Cuenca del Ebro. El equivalente total de población de ganado consumidor es de  $1,17 \times 10^6$  animales que tienen un requerimiento de input anual de  $4,14 \times 10^9$  unidades de nutrición (UN)\*\*. Todos los datos están tomados de Zarazaga Burillo (1971). El valor entre paréntesis es el peso seco supuesto

Inputs		Rendimientos	
Fuente	Cantidad	Tipo	Cantidad (peso fresco)
Tierra cultivada	$2,83 \times 10^9$ UN	Carne (20%)	$27,20 \times 10^4$ m
Otra tierra	$1,04 \times 10^9$ UN	Trabajo	$20,75 \times 10^6$ obradas***
Paja	$0,47 \times 10^9$ UN	Leche	$31,90 \times 10^7$ litros
Total alimento	$4,37 \times 10^9$ UN	Huevos	$10,98 \times 10^7$ docenas
Mano de obra		Fieno (5%)	$79,12 \times 10^5$ m
Otros subsidios		Lana	$43,73 \times 10^5$ kg
		Miel	$13,48 \times 10^2$ m }
		Cera (30%)	62 m

\*Basado en el siguiente inventario de animales: 284.479 cabezas de ganado vacuno; 3.996.417 corderos; 1.007.058 cerdos; 26.201 caballos; 79.640 mulas; 25.387 asnos; 180.647 cabras; 7.553.866 pollos; 823.553 conejos; y 58.102 colmenas. La cantidad permanente de cabezas de vacuno, corderos y cerdos era 44,4 kg/ha. La cantidad total por consumidor era 51,6 kg/ha.

\*\*UN se calculó a partir de coeficientes de UN/Qm de materia verde (coeficiente igual a 16). 1 UN es igual a  $2,5 \times 10^3$  kcal de equivalentes calóricos.

\*\*\*1 obrada es igual a 8 horas.

Tabla 8. Relación entre uso de energía de combustible fósil en España y producto nacional bruto. Los valores de energía están tomados de Shell Oil Co. y los datos económicos y valores de energía entre paréntesis están tomados de Tamames (1977).

Año	Producto Nacional Bruto		Input de Combustible Fósil $\times 10^{13}$
	Pesetas 1969 $\times 10^8$	Pesetas Actuales $\times 10^9$	
1958	1043,3	581,8	4,77
1959	1037,5	603,4	4,61
1960	1052,2	620,4	4,56 (23,67)
1961	1172,5	706,6	5,16 (23,69)
1962	1279,2	816,7	6,19 (25,42)
1963	1396,2	963,9	7,28 (28,20)
1964	1475,5	1088,0	8,83 (29,45)
1965	1577,4	1287,0	10,74 (30,0 )
1966	1699,5	1477,3	12,23 (32,23)
1967	1776,5	1632,1	14,68 (34,95)
1968	1874,8	1804,9	17,18 (37,50)
1969	2011,7	2011,7	18,73 (39,74)
1970	—	2258	21,86 (41,73)

Table 9. Estadísticas sobre España, tomadas de los datos de población mundial del Population Reference Bureau, Inc., para 1977.

Parámetro	Valor
Población Estimada	36,5 millones
Tasa de nacimientos	18/1.000
Tasa de defunciones	8/1.000
Tasa de Incremento Natural	1 %
Número de años para que se doble la población	69
Población menor de 15 años	28 %
Población mayor de 64 años	10 %
Esperanza de vida al nacer	72
Población urbana	61 %
Producto Nacional Bruto per cápita	\$2.700

Table 10. Regresión lineal ( $y = mx + b$ ) de energía en equivalentes de combustible fósil y producto nacional bruto, de precipitación y de producción agrícola en España y en la Cuenca del Ebro (respectivamente).

X	y	m	b	r
Energía de combustible fósil utilizada en España (kcal $\times 10^3$ tomado de Shell Co. en la Tabla 8)	Pesetas $\times 10^9$ (no corregido según la inflación)	0,52	1126	0,55
Energía de combustible fósil utilizada en España (kcal $\times 10^{13}$ tomado de Shell Co. en la Tabla 8)	Pesetas de 1969 $\times 10^9$ (corregido según la inflación)	65,97	815	0,98
Energía de combustible fósil utilizada en España (kcal $\times 10^9$ tomado de Tamames, 1977 en la Tabla 8)	Pesetas de 1969 $\times 10^9$ (corregido según la inflación)	57,83	-224,6	0,99
Precipitación (mm.) en la Cuenca del Ebro	Rendimiento (kg/ha) tomado de Alberto y Machín, 1977	0,148	241	0,82

Tabla 11. Actividad económica asociada a la productividad primaria en la Cuenca del Ebro durante 1967 (Zarazaga Burillo, 1971 y Maestro Palo, 1971).

Sector Productivo	Valor Económico (10 <sup>9</sup> pesetas)
Agricultura	27,25
Pastos	14,29
Bosques	1,47
Total	43,01*

\*14,6% de la producción de España y 2,6% del producto nacional bruto español en 1967.

Table 12. Cálculo de la tasa de inversión para España (1970) e informe sobre otras partes del mundo (Maltby, 1977).

Energía Comparada (I)		Energías Naturales (II)			Tasa de Inversión
Calidad de la Energía	Input de Combustible fósil	Input Solar	Energía Hidroeléctrica	Potencial Químico del agua	I/II
Equivalente de Combust. Fósil	$41,73 \times 10^{13}$	$43,33 \times 10^{13}$	$12,04 \times 10^{13}$	$3,60 \times 10^{13}$	$\frac{42 \times 10^{13}}{59 \times 10^{13}} = 0,7$
Equivalentes Calóricos	$41,73 \times 10^{13}$	$86.665,6 \times 10^{13}$	—	$7,21 \times 10^{14}$	—

  

País o Sector Económico	Tasa de Inversión
Norte de Florida	1,8
Cultivo de la Ostra en Florida	2,2
Jacksonville, Florida	1,3-2,8
Transformación de la Madera de Ciprés en Lee County, Florida	1,9
Francia	1,9
Media Mundial	0,3
Sur de Florida	2,4
Miami, Florida	4-10
Estados Unidos (1973)	2,5

Tabla 13. Utilización de la energía (kcal./persona y año) en diversos países

País	Energía gratuita	Energía comprada	% del total que se compra	Eficacia del uso de energía basado en el Input total
India (Llanura Oriental del Ganges) <sup>a</sup>	$3,6 \times 10^6$	$0,6 \times 10^6$	14,3	7,6
China (Humana) <sup>a</sup>	$7,5 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	20,2	10,4
Tanzania <sup>a</sup>	$6,0 \times 10^6$	$0,2 \times 10^6$	3,2	5,4
Nigeria <sup>a</sup>	$4,4 \times 10^6$	$0,2 \times 10^6$	4,3	5,9
México (Norte) <sup>a</sup>	$14,7 \times 10^6$	$3,6 \times 10^6$	19,7	24,1
Cuenca del Ebro (1970) <sup>b</sup>	$90,8 \times 10^6$	$30,0 \times 10^6$	24,8	—
España (1970) <sup>c</sup>	$23,0 \times 10^6$	$11,4 \times 10^6$	33,1	—
Puerto Rico (Costa Noroeste, 1970) <sup>d</sup>	$98,0 \times 10^6$	$228,6 \times 10^6$	70,0	—
Estados Unidos (1973) <sup>e</sup>	—	$125 \times 10^6$	—	—
Jacksonville, Florida (1974) <sup>f</sup>	$240,5 \times 10^6$	$309,5 \times 10^6$	56,3	—

a De Makhijani (1976) en equivalentes calóricos.

b de la Fig. 7; tomando una población de  $2,36 \times 10^6$  (Tabla 3); y suponiendo una superficie productiva del 97% de la cuenca, funcionando durante 6 meses con una eficacia del 0,003%.

c de la Tabla 10; tomando una población de  $36,5 \times 10^6$  (Tabla 3) y suponiendo una superficie productiva del 90% del país, funcionando durante 6 meses con una eficacia del 0,03%.

d tomado Lugo *et al.* (1977).

e de la Fig. 5 y una población de  $200 \times 10^6$ .

f De Maltby (1977); en equivalentes de combustible fósil, y una población de 570.000