
Emmanuel G. Koukios ()*

*Desarrollo de sistemas de biomasa
integrados como estrategia
alternativa para zonas rurales. El
ejemplo de Grecia*

INTRODUCCION

Estructura socioeconómica. Un elemento común a todo intento de analizar los principales problemas socioeconómicos de la Grecia actual, es la importante consideración de los factores regionales (1, 2). El significado de esa perspectiva regional va más allá de las conocidas desigualdades de renta *per capita* y otros indicadores socioeconómicos convencionales, entre las distintas regiones de Grecia (3). Lo que se detecta claramente a escala regional es la expresión de peculiaridades estructurales del desarrollo económico griego durante la posguerra y, en particular, la «dependencia» como efecto importante a los niveles económico, técnico y cultural (4).

En consecuencia, el tema del desarrollo regional de las áreas deprimidas de Grecia ha de definirse en relación con la fuerte necesidad actual de cambios estructurales profundos y, a través de ello, con la cuestión de una estrategia alternativa de desarrollo. Uno de los principales objetivos de tal estrategia será redescubrir el concepto de «región», no sólo como

(*) Departamento de ingeniería química. Universidad Nacional Técnica de Atenas.

entidad geográfica, sino como sistema socioeconómico que ha evolucionado históricamente sobre unas bases geofísicas y ecológicas específicas y que posee un determinado potencial de desarrollo autopropagador (2, 5).

Perspectivas tecnológicas. Desde mediados de los años setenta, se ha añadido a las dimensiones nacionales del problema del desarrollo nacional griego una dimensión internacional de carácter tecnoeconómico y ecológico. Surgió como consecuencia de las crisis mundiales en los campos de la energía, las materias primas, la alimentación y el medio ambiente. Se trata de crisis estructurales, provocadas no por el agotamiento real de los recursos, sino por su distribución desigual y por una gestión inadecuada (6). Además, la región actúa como escenario privilegiado en el que se manifiestan las nuevas crisis y en el que, al mismo tiempo, podrían resolverse (7-9).

Junto con el creciente regionalismo que caracteriza todos los grandes problemas de nuestro tiempo, surgen constantemente nuevas generaciones de tecnologías, basadas en la idea de unidades de producción pequeñas y descentralizadas, que utilizan recursos materiales y energía local, preferiblemente renovables mediante transformaciones ecológicamente «blandas». Tenemos ejemplos en los campos de las energías renovables (solar, eólica, geotérmica, de la biomasa), de los nuevos materiales, nueva biotecnología, nuevas prácticas agrícolas y del renovado sector de los servicios (10-13).

El presente trabajo analiza un grupo relativamente homogéneo de nuevas tecnologías: las relaciones con el aprovechamiento de la biomasa y los bioprocesos correspondientes, desde la perspectiva de las aplicaciones regionales en las zonas rurales de Grecia.

FUNCION REGIONAL DE LAS TECNOLOGIAS DE LA BIOMASA

Definiciones. El término «bioproceso», en su sentido más amplio, hace referencia a cualquiera de las formas de

implicación tecnológica de la materia viva, sea como componente único de un proceso (microorganismo, planta, animal), sea como sistema completo (comunidad, ecosistema, sistema de producción, sistema global). Cabe distinguir tres categorías principales de bioprocesos (14):

- a) Prácticas agrícolas tradicionales: cultivo de la tierra, cría de animales, pesca y silvicultura.
- b) Métodos agroindustriales tradicionales, como los utilizados en la producción de alimentos, bebidas, fibras, cuero, tabaco, etc.
- c) Nuevas posibilidades tecnológicas surgidas en las dos últimas décadas de la actividad de I+D con el fin de convertir los recursos biológicos en productos valiosos, a ser posible por vías bioquímicas.

En el presente trabajo consideraremos sólo la tercera categoría, que es la que abarca, estrictamente hablando, los nuevos bioprocesos.

Como ilustra la anterior definición, los bioprocesos presentan una relación directa con la producción primaria, la recolección, el fraccionamiento y el tratamiento de materia orgánica de origen biológica o «biomasa». Pueden distinguirse tres tipos de biomasa (15):

- I. Productos agrícolas y agroindustriales, correspondientes a los procesos (a) y (b) anteriores.
 - II. Subproductos, residuos y desechos agrícolas, agroindustriales y otros de tipo orgánico generados, junto con los productos principales, en los procesos (a) y (b) anteriores, pero también de los procesos (c); por ejemplo: los fangos resultantes del tratamiento biológico de los residuos.
 - III. Materia orgánica de origen microbiano o vegetal producida con el único objeto de ayudar a los bioprocesos clasificados en el apartado (c); por
-

ejemplo: nuevos métodos de cultivo de células y tejidos; nuevas plantaciones industriales y de energía.

Hay que señalar que los nuevos bioprocesos vienen enfrentándose, desde sus principios, con el dilema primordial de elegir, al menos, entre los dos últimos tipos de biomasa como materia prima. La solución depende de las condiciones regionales y nacionales.

En el caso de Grecia, todas las pruebas disponibles aluden a la prioridad del aprovechamiento de los residuos orgánicos (16).

Potencial tecnoeconómico. La tabla 1 resume las tecnologías de biomasa más prometedoras para aplicaciones regionales en Grecia. Sus características tecnoeconómicas básicas se recogen en la tabla 2, clasificadas en tres grupos con arreglo a las posibilidades de aplicación de los bioprocesos correspondientes.

En general, las vías de producción bioquímicas se caracterizan por su mayor selectividad, sus menores necesidades de energía y materiales secundarios, su mayor flexibilidad y sus considerables posibilidades de funcionamiento en ciclo cerrado, generación de desperdicios, hasta el fraccionamiento y el refinado completo de la biomasa tratada. En consecuencia, la productividad de tales unidades tiende a ser muy superior a la de las basadas en vías tradicionales, como la termoquímica. Una consecuencia secundaria, pero de la mayor importancia, es que el coste de los bioprocesos industriales es mucho menos sensible a la escala de producción. Por tanto, la adopción de las nuevas tecnologías de la biomasa permitiría rentabilizar unidades productivas de tamaño inferior al habitual y caracterizadas por inversiones reducidas (17-19). Esto supone una ventaja clara por su aplicación a zonas rurales subdesarrolladas en las que, debido a la falta de infraestructura, los costes fijos suelen ser más altos (20, 21).

Por otra parte, cuando se planifican nuevas bioindustrias

TABLA 1

**Tecnologías de la biomasa más prometedoras
para aplicaciones regionales en Grecia**

Biomasa	Procesos	Productos
Desechos animales, humanos y vegetales	Digestión anaerobia	Biogás (combustible), Fertilizantes orgánicos
Residuos sólidos de la madera, vegetales y urbanos	Carbón comprimido Combustión Conversión termoquímica	Combustible sólido Calor, vapor, electricidad Combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, metanol
Hojas, materia vegetal verde	Extracción mecánica	Proteínas, pienso
Semillas y tortas	Extracción química con disolventes	Aceite de semillas, proteínas, pienso
Azúcares, almidones	Fermentaciones	Proteínas, etanol, compuestos químicos
Residuos de plantas de celulosa, madera	Tratamientos mecánicos y químicos	Fibras, compuestos químicos, azúcares
Diversos residuos orgánicos	Fermentación en fase sólida Fabricación de compost	Proteínas, pienso animal, fertilizantes orgánicos

Fuente: (39).

de pequeño volumen a escala regional, hay que tomar seriamente en consideración toda una serie de incertidumbres y riesgos económicos: los efectos del clima y de la estación sobre la producción primaria de biomasa; la disponibilidad de materias primas con especificaciones de calidad aceptables (sobre todo por lo que respecta a los residuos orgánicos); la elección entre programas alternativos de aprovechamiento; las posibilidades de comercialización de los productos a escala nacional e internacional, etc. Estos factores podrían cuantifi-

TABLA 2
Características tecnoeconómicas y potencial de las tecnologías de la biomasa para aplicaciones regionales

Grupo	Tecnología	Características de grupo	Potencial de grupo
A	Combustión para obtener calor Digestión anaerobia Carbón comprimido Fabricación de compost Fermentación de la fase sólida Obtención termoquímica de combustible sólido	Baja inversión Pequeña escala Maquinaria sencilla Coste de producción Coste de producción determinado por las materias primas	Aplicaciones muy descentralizadas, con hincapié en las necesidades de la agricultura; iniciativas locales; mercados locales y regionales
B	Combustión para obtener vapor y electricidad Fermentación para obtener etanol Extracción mecánica, con disolventes y química Tratamiento termoquímico para obtener combustible gaseoso	Inversión moderada Escala intermedia Maquinaria relativamente complicada Coste de producción determinado por las materias primas y por la mano de obra	Producción para los mercados regional y nacional; aplicaciones relacionadas con el nivel del crecimiento agroindustrial y la urbanización; mano de obra poco especializada
C	Producción mecano-química de fibra Fermentación para obtener proteínas y compuestos químicos Tratamiento termoquímico para obtener combustible líquido y compuestos químicos	Inversión elevada Gran escala Maquinaria compleja Coste de producción determinado por las materias primas, la mano de obra y el capital	Aplicaciones estratégicas en polos seleccionados; producción para los mercados nacional e internacional; mano de obra muy especializada

Fuente: (9, 11, 12, 17, 21, 37).

carse e incluirse en procesos de adopción de decisiones mediante la aplicación de varias técnicas analíticas (22, 23).

Aspectos ecológicos. En comparación, por ejemplo, con la tecnología petroquímica, los bioprocesos y otras tecnologías relacionadas con la biomasa ofrecen la posibilidad de establecer relaciones más armoniosas con el medio ambiente y sus ecosistemas. Sin embargo, el simple hecho de que las bioindustrias actúen más cerca de los ciclos biológicos de una región determinada no garantiza el equilibrio biológico. En particular, la creación de grandes plantaciones de biomasa para obtener energía, compuestos químicos o fibras, podría ejercer efectos muy perjudiciales sobre el equilibrio hidrológico, la fertilidad del suelo e incluso la calidad del aire (24-26).

Por fortuna, las limitaciones ecológicas son en la actualidad parte integrante de los planes de desarrollo. En relación con este factor, las tecnologías de la biomasa tienen una característica única: pueden considerarse componentes de un sistema económico-ecológico mayor en la región de que se trate. Recientemente se ha aceptado que este enfoque integrado a los dos niveles, uno de análisis y otro de ejecución, constituye un instrumento útil para lograr el objetivo del ecodesarrollo (27-29).

Desarrollo rural. Como muestra la tabla 1, los productos de las tecnologías de la biomasa se corresponden con las necesidades humanas básicas (alimento, forraje, fertilizante, combustible, fibra, etc.). En general, las áreas rurales de Grecia dependen en la actualidad de los mercados nacionales e internacionales para la satisfacción de dichas necesidades; el ejemplo de la isla de Creta (tabla 3) ilustra este aspecto. Por tanto, la introducción de bioprocesos que puedan aprovechar los residuos orgánicos de una región, actualmente desperdiciados, convirtiéndolos en productos finales valiosos, lograría dos objetivos:

- A) Autonomía regional en sectores críticos de la economía local.
-

B) Especialización regional en áreas que ofrecen ventajas relativas.

Hay que señalar que el amplio espectro del campo de la biotecnología permite seleccionar la tecnología óptima para cada objetivo.

Otro factor importante, que podría ajustarse fácilmente eligiendo el bioproceso adecuado, es la relación capital/mano de obra de las nuevas inversiones (tabla 2). Como es ahora bien sabido, una insistencia excesiva en el aspecto de la autonomía regional, junto con la prioridad otorgada al empleo, podría iniciar un nuevo círculo vicioso de subdesarrollo a un coste social muy superior (30). Por el contrario, un enfoque orientado hacia el futuro aportaría importantes beneficios al crecimiento automantenido (31).

La búsqueda de una estrategia bioindustrial óptima para las áreas rurales se agilizaría a través de un análisis de los costes sociales y medioambientales en relación con los

TABLA 3

Dependencia de la región de Creta
en relación con la importación de artículos básicos (1975)

Artículos	Porcentaje (%) de necesidades anuales cubierto por:		
	Recursos regionales	Mercado nacional	Mercado internacional
Carne	94	3	3
Otros alimentos	80 ^b	10	10
Proteínas para alimentación animal .	36	40	24
Fertilizantes - productos químicos para la agricultura	33 ^c	60	7
Energía (en todas sus formas)	10	30	60
Madera industrial	—	40	60

a) Máximo teórico suponiendo que no se hagan exportaciones desde la región.

b) Gran parte de la producción se exporta a los mercados internacionales.

c) Máximo potencia de reciclaje del sistema biológico.

Fuente: Estimaciones del autor basadas en la metodología de (39).

beneficios de cada una de las soluciones tecnológicas. También se está desarrollando la metodología necesaria para este enfoque, aunque a un ritmo más lento (32-36).

GESTION DE LOS BIOSISTEMAS REGIONALES

Estructura del biosistema. Como se ha visto en el análisis precedente, para maximizar la contribución de las tecnologías de la biomasa al desarrollo de las áreas deprimidas de Grecia, hay que seguir un método en tres tiempos:

- I. Selección de las tecnologías apropiadas sobre la base de criterios socioeconómicos y tecnoeconómicos.
- II. Diseño de los sistemas integrados correspondientes, que han de incluir los procesos seleccionados teniendo en cuenta factores medioambientales y ecológicos.
- III. Integración de los biosistemas diseñados en la estructura socioeconómica previa de la región.

Este procedimiento no es exactamente lineal; son necesarios lazos de realimentación entre los primeros y, asimismo, entre el II y el III, para que la selección de las opciones sea eficaz.

La disponibilidad de modelos eficaces que ilustrasen los flujos materiales y financieros entre los diversos componentes o subsistemas del complejo integrado ayudaría mucho a gestionar los biosistemas. El uso de tablas de entrada/salida constituye uno de los métodos más sencillos, y permite entender claramente la estructura del sistema (37). La tabla 4 es la tabla de entrada/salida del flujo de nitrógeno, un nutriente crítico, en el sistema de biomasa de Creta, tomado como entidad económica-ecológica completa. Por otra parte, el uso de modelos dinámicos ayudaría a conocer el comportamiento de los biosistemas a lo largo del tiempo, insistiendo en el equilibrio y la estabilidad (38).

TABLA 4

Tabla de entrada/salida de flujo de nitrógeno (N)
en el sistema de biomasa de Creta (1975)

DESDE:	A:								
	Suelo	Plan- tas	Ani- males	Agroin- dustria	Bos- ques	Comu- nidad hu- mana	Ener- gía	Dese- chos	TO- TAL
Suelo	—	80	—	12	—	—	—	33	125
Plantas	25	—	20	—	6	4	—	25	80
Animales	5	—	—	—	—	9	—	46	60
Bosques	10	—	—	—	—	—	1	1	12
Agroindustria ...	—	—	—	—	—	5	—	2	7
Comunidad hu- mana	—	—	—	—	—	—	—	20	20
Energía	—	—	—	—	—	—	—	1	1
Importaciones ...	85	—	40	—	1	2	—	—	128
TOTAL	125	80	60	12	7	20	1	128	433

a) En 10² t N/año.

b) Mínimo necesario suponiendo que no se produzcan exportaciones desde la región (aprox. 30 % de las necesidades totales).

Fuente: Estimaciones del autor basadas en la metodología de (39).

Una aplicación (39). La isla de Creta, con una población de 500.000 habitantes, constituye una región, sea cual sea el criterio utilizado para definirla. Esta región es de carácter rural, con una economía basada tradicionalmente en la agricultura y, recientemente, en el turismo. Según la tabla 3, la economía cretense depende en gran medida de las importaciones de proteínas en forma de piensos, fertilizantes, combustibles y fibras. Al mismo tiempo, las prácticas agrícolas intensivas tradicionales, la agroindustria (almazaras de aceite de oliva, explotaciones ganaderas) y el turismo masivo, degradan continuamente los frágiles ecosistemas mediterráneos de la isla. Son aspectos críticos que exigen una intervención urgente la calidad de agua, la fertilidad de suelo y la gestión de los residuos. En términos globales, lo que aquí está en juego es la capacidad de supervivencia del desarrollo

Red de energía

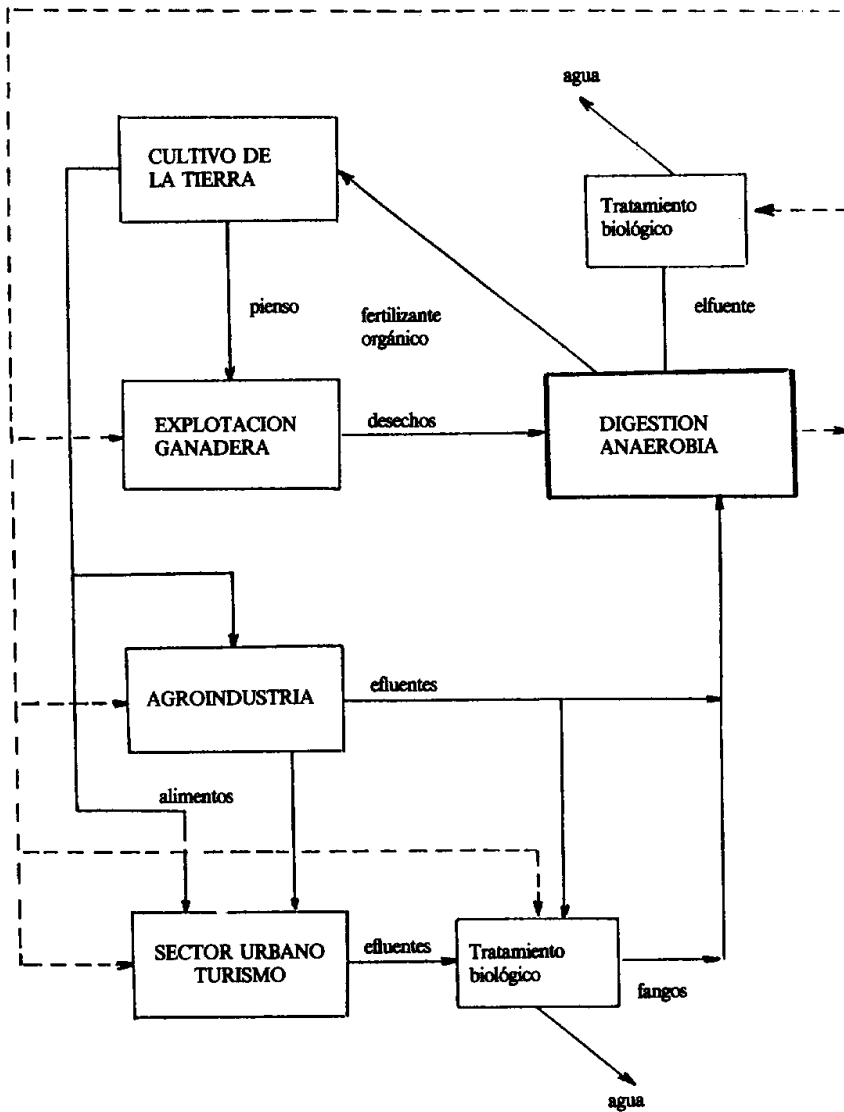


Figura 1.—Integración de las principales actividades de producción de Creta mediante la creación de una red de materiales y energía basada en tecnologías de la biomasa.

de la isla (40), puesto que sus dos polos, la agricultura y el turismo, están amenazados por los efectos de la actual gestión del biosistema.

La creación de nuevos biosistemas en la isla ayudaría a invertir esa tendencia. Como ilustra el ejemplo de la figura 1, la introducción de los bioprocesos adecuados actuaría como agente integrador y estimularía el establecimiento de relaciones simbióticas, como la estructura económica-ecológica regional. Recientemente, el Centro Griego de Productividad (ELKEPA) ha propuesto el diseño de una planta de digestión anaerobia (el bioproceso clave seleccionado para este caso), como el objetivo principal de un programa piloto que se llevará a cabo en Creta.

Bibliografía

1. P. LOUKATIS: «Regionale Strukturprobleme in Griechenland unter Berücksichtigung des Wachsenden Industrialisierungsprozesses», *Dissertation*, T.H. Aquisgrán, 1976.
 2. A. TRITSIS: «Regional Planning», *Course Notes*, Instituto de desarrollo regional, Atenas, 1978 (en griego).
 3. D. HATJIMIHALI y C. HATJIMIHALIS: «Regional Inequalities», *Economy and Society*, 3, 33, 1979 (en griego).
 4. C. VERGOPOULOS y S. AMIN: *Deformed Capitalism*, Ed. Papazisis, Atenas, 1975 (en griego).
 5. J. R. MEYER: «Regional Economics-A Survey», en: L. Needleman (dir. de ed.), *Regional Analysis*, Penguin Books, 1972.
 6. E. G. KOUKIOS: «A Management Crisis of Our Planet's Organic Systems», *Lecture*, Universidad Nacional Técnica de Atenas, diciembre 1979 (en griego).
 7. W. LEONTIEF y col.: *The Future of the World Economy*, Oxford Univ. Press, Nueva York, 1977.
 8. E. LASZLO y col.: *Goals for Mankind*, Signet, Nueva York, 1978.
-

-
9. D. HUGHART: *Prospects for Traditional and Non-Conventional Energy Sources in Developing Countries*, Banco Mundial, Washington, D.C., 1979.
 10. P. H. ABELSON: *Sunworld*, 4 (4), 117, 1980.
 11. E. CAMPOS-LÓPEZ (dir. de ed.): *Renewable Resources-A Systematic Approach*, Academic Press, Nueva York, 1980.
 12. E. G. KOUKIOS (dir. de ed.): *Local Productive Initiatives in Greece*, Ministerio de la Juventud, Atenas, 1983.
 13. Informe FAST: *Eurofutures-The Challenges of Innovation*, Butterworths, 1984.
 14. E. G. Koukios: «Agricultural Industries», *Course Notes*, Univ. Nacional Técnica de Atenas, 1980 (en griego).
 15. E. G. KOUKIOS: *Technica Chronica-Chem. Eng. Ed.*, octubre-diciembre 1977, 16 (en griego).
 16. E. G. KOIKIOS: *Technica Chronica*, 5-6/78, 41, 1978 (en griego).
 17. E. L. GADEN, Jr.: «Prospects for Biotechnology in a Resource-Limited World», *Opening Address*, 27 congreso IUPAC, Helsinki, agosto 1979.
 18. M. HEISEL: *Eng. Costs and Prod. Econ.*, 5, 21, 1980.
 19. R. C. MYERLY y col.: *CHMTECH*, 11 (3), 186, 1981.
 20. H. W. LAMBE: *CHEMTECH*, 8 (2), 100, 1978.
 21. E. J. DASILVA y H. W. DOELLE: *Process Biochemistry*, marzo 1980, 2.
 22. D. C. WILSON: *Resource Recovery and Conservation*, 4, 261, 1979.
 23. H. ALTER: *Resource Recovery and Conservation*, 5, 39, 1980.
 24. M. TAGHI FARVAR y J. P. MILTON (dirs. de ed.): *The Careless Technology*, The Natural History Press, Nueva York, 1972.
 25. FAO, *Damain le Désert?*, *Cérès*, 56, 37, 1977.
 26. S. BUDIANSKY: *Env. Sc. Technol.*, 14, 769, 1980.
 27. I. ROUSSEAU y col.: *Resource Recovery and Conservation*, 4, 59, 1979.
 28. D. O. HALL y col. (dirs. de ed.): *Economics of Ecosystem Management*, dr. W. Junk, Dordrecht, 1985.
-

-
29. I. SACHS: «The Strategies of Ecodevelopment», *Cérès*, 100, 17, 1984.
 30. E. G. KOUKIOS: *Planning Production Initiatives*, Seminario de la OCDE sobre Iniciativas locales de empleo, Atenas, 1983.
 31. T. BLUMENTHAL y M. TEUBAL: *Histotsubashi J. of Economics*, junio 1979, 33.
 32. R. F. KEENEY y H. RAIFFA: *Decisions with Multiple Objectives*, Wiley, Nueva York, 1976.
 33. R. M. WENDLING y K. P. BALLARD: *Growth and Change*, 11 (4), 7, 1980.
 34. C. D. DELORME, Jr., y N. J. WOOD: *Growth and Change*, 12 (1), 21, 1981.
 35. W. HAFKAMP y P. NIJKAMP: *Environment and Planning*, A13, 7, 1981.
 36. P. NIJKAMP y J. ROUWENTAL: *The Social Rate of Discount in Project Evaluation*, IIUG Discussion Paper, WZB, Berlín, 1985.
 37. E. G. KOUKIOS y C. HATZIYANNAKIS, en: S. G. Tzafestas y M. H. Hamza (dirs. de ed.): *Advances in Modeling, Planning, Decision and Control of Energy, Power and Environmental systems*, Acta Press, Zurich, 1983, pág. 68.
 38. E. G. KOUKIOS y col.: «A Model of Mass and Energy Flow in Integrated Biomass Systems», *Biomass* (enviado).
 39. E. G. KOUKIOS: «The Regional Role of Agricultural Residues», *Dissertation*, Instituto de desarrollo regional, Aenas, 1979 (en griego).
 40. M. N. CHRISTENSEN: *Infrastructure for Development - Illustrated by Small Mediterranean Islands*, ERG paper 86-1 univ. de Berkeley, junio 1986.

RESUMEN

El presente trabajo trata de relacionar los problemas de la economía griega expresados en términos regionales, con los recientes adelantos tecnológicos en el campo de la biomasa. En él se analiza la contribución potencial de los bioprocesos y de sus complejos sistemas integrados al desarrollo regional, desde las perspectivas tecnoeconómica, socioeconómica y ecológica. El significado de la integración de las tecnologías/sistemas de biomasa en las estructuras regionales se ilustra con una aplicación realizada sobre la región de Creta.

RÉSUMÉ

Le présent travail s'efforce d'établir une relation entre les problèmes de l'économie grecque, exprimés en termes régionaux, et les récentes découvertes technologiques dans le domaine de la biomasse. Il y est analysé, sous une perspective techno-économique, socio-économique et écologique, la contribution potentielle du bioprocessus, et de ses systèmes intégrés complexes, au développement régional. Le sens de l'intégration des technologies/systèmes de biomasse dans les structures régionales y est illustré à travers l'application qui en a été faite dans la région de Crète.

SUMMARY

This paper attempts to relate the regionally expressed problems of the Greek economy to the recent technological progress in the biomass field. The potential contribution of bioprocesses and their integrated complex systems to regional development is analyzed from technico-economic, socio-economic and ecological points of view. The significance of the integration of biomass technologies/systems to regional structures is illustrated by an application to the region of Crete.

