

Impacto sobre el desarrollo económico local en Andalucía del uso de la biomasa como energía renovable

Manuel Alejandro Cardenete Flores
Universidad Pablo de Olavide
macardenete@upo.es

José Manuel González Limón
Universidad de Sevilla
limon@us.es

María del Pópulo Pablo – Romero Gil – Delgado
Universidad de Sevilla
mpablrom@us.es

Rocío Román Collado
Universidad de Sevilla
rroman@us.es

RESUMEN

El desarrollo de las energías renovables basadas en la biomasa exige del uso de una serie de *inputs* propios de sectores económicos rurales.

Mediante un Modelo de Equilibrio General basado en la Matriz de Contabilidad Social para Andalucía, 2008, el *paper* estima el impacto económico que supondría para el desarrollo local de Andalucía, el logro de los objetivos fijados en el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER) 2007-2013 de las tecnologías basadas en el uso de la biomasa para uso térmico, para generación eléctrica y para co-combustión.

El cumplimiento de los objetivos para la biomasa para uso término supondría un aumento del 2.01 % para el conjunto de sectores económicos considerados. El mismo cumplimiento de objetivos para la biomasa para generación eléctrica sería del 0.77 %. Finalmente, el impacto del desarrollo de la biomasa para co-combustión sería del 1.25%.

Palabras clave: energías renovables, biomasa, Modelo de Equilibrio General, Matriz de Contabilidad Social, Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética.

1. Introducción y objetivos
2. Modelo y datos
3. Resultados
4. Conclusiones
5. Referencias utilizadas

1. Introducción y objetivos

La puesta en funcionamiento de una planta de producción energética supone un impacto directo en la demanda asociada a contratación de los *inputs* necesarios para su construcción primero y funcionamiento, después.

Mediante el uso de un Modelo de Equilibrio General Aplicado –MEGA- en este artículo se consideran tres tecnologías aplicadas a la utilización de la biomasa para la generación de energía. Específicamente, se analiza el impacto sobre el desarrollo económico de Andalucía provocado por el desarrollo de la biomasa para uso térmico, para generación eléctrica y en plantas de co-combustión. Para ello se consideran los costes de inversión y de operación y mantenimiento (O & M) de una planta tipo en cada una de las tres tecnologías.

Para establecer su grado de implantación se ha considerado lo establecido en el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (PASENER).

La Tabla 1 resume para los tres usos considerados de la biomasa, el incremento en la capacidad necesaria alcanzar estos objetivos.

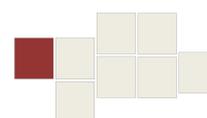
| Tipo de energía | Ud | Capacidad instalada 2007 | Objetivos PASENER 2013 | Δ 2007-2013 |
|------------------------------|------|--------------------------|------------------------|--------------------|
| Biomasa uso térmico | Ktep | 564,1 | 649 | 84,9 |
| Biomasa generación eléctrica | MW | 164,2 | 256 | 91,8 |
| Biomasa co-combustión | MW | 0 | 122 | 122 |

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía. Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

2. Modelo y datos

2.1 El modelo

Las Matrices de Contabilidad Social (MCS) poseen dos características básicas que las hacen atractivas como bases de datos: su carácter descriptivo y analítico.



Por un lado, una MCS contiene un elevado grado de detalle informativo en cuanto a transacciones y flujos bilaterales, lo que permite visualizar, en primera instancia, la red de interconexiones directas entre sus cuentas ofreciendo una radiografía o imagen estática de la economía. Por otro lado, y tras incorporar supuestos de conducta y de estructura de los agentes económicos y su entorno, la estructura de una MCS se convierte en el soporte numérico que permite desarrollar modelos multisectoriales como el modelos de equilibrio general aplicado o computables (MEGA)¹ que aquí se ha desarrollado.

La base de datos utilizada para este trabajo ha sido la MCS realizada para Andalucía² a partir del Marco Input-Output de 2000, como fuente de información básica³. Esta Matriz ha sido actualizada para el año 2008, por lo que nos referiremos a ella como MCSAND08.

Todas las cifras están expresadas en valores de 2008.

En cuanto al grado de desagregación de los sectores de la MCSAND08, posee 39 x 39 sectores, donde se describen los flujos realizados en la economía andaluza para el año 2000.

Los sectores productivos se han reducido a 27 (cuentas de la 1 a la 27); dos factores productivos Trabajo y Capital (cuentas 28 y 29, respectivamente); la cuenta de Ahorro/Inversión (cuenta 31); los sectores institucionales: la Administración Pública (cuenta 38); el Consumo (cuenta 30) y los diferentes impuestos: indirectos, Cotizaciones Sociales de los Empleadores, Impuestos Netos sobre la Producción, Tarifas e Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA); y directos, Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas y Cotizaciones Sociales de los Empleados (de la cuenta 32 a la 37); y, por último, el Sector Exterior (cuenta 39).

Las dos primeras columnas de la Tabla 8 detallan los sectores productivos considerados en el modelo.

El modelo incluye un conjunto de ecuaciones que reflejan las condiciones de equilibrio y el comportamiento de los diferentes agentes económicos –productores, consumidores, sector público y sector exterior-.

¹Véase para un repaso de todos estos modelos Shoven y Whalley (1992).

² Para un mayor detalle de esta base de datos, véase Cardenete y Sancho (2003).

³ Las principales fuentes estadísticas utilizadas han sido: las citadas Tablas Input-Output de Andalucía de 1995 (TIOAND-95), del Instituto de Estadística de Andalucía; la Contabilidad Regional de Andalucía de 1995 (CRA-95), del Instituto de Estadística de Andalucía, Base de Datos TEMPUS (BDT-95), del Instituto Nacional de Estadística, la Contabilidad Regional de España de 1995, Base 1986 (CRE-95), del Instituto Nacional de Estadística, Tabla Input-Output de España de 1994 (TIOESP-94), del Instituto Nacional de Estadística y la Matriz de Contabilidad Social de 1990 (SAMAND90), realizada por Cardenete (1998).

En esta subsección, el artículo presenta un análisis detallado de cada sector o agente (apartados 2.1.1 a 2.1.4), incluyendo algunas observaciones en relación con el mercado de trabajo (apartado 2.1.5) y la noción de equilibrio utilizada (apartado 2.1.6)⁴.

2.1.1 Producción

El modelo para la economía andaluza incorpora 27 sectores productivos. Se asume que cada sector genera un producto homogéneo según una función de producción anidada. En el primer nivel de anidamiento, siguiendo la hipótesis de Armington, la producción total de cada sector (Q_j) se obtiene de una función tipo Cobb-Douglas agregada que incluye la producción interior (Qd_j) y las importaciones (Qm_j). En el segundo nivel, la producción interior para cada sector se obtiene con una tecnología con coeficientes constantes que relaciona los (X_{ij}) y el valor añadido (VA_j). Finalmente, en el tercer nivel, el valor añadido de cada sector se obtiene mediante la combinación de los factores primarios, capital (K_j) y trabajo (L_j), de acuerdo con una función con tecnología Cobb-Douglas. Las expresiones utilizadas en estos tres niveles están dadas por (1), (2) y (3) respectivamente:

$$Q_j = \beta_{Aj} Qd_j^{\delta dj} Qm_j^{1-\delta dj} \quad (1)$$

$$Qd_j = \min \left\{ \frac{X_{1j}}{a_{1j}}, \frac{X_{2j}}{a_{2j}}, \dots, \frac{X_{16j}}{a_{16j}}, \frac{VA_j}{v_j} \right\} \quad (2)$$

$$VA_j = \beta_j K_j^{\alpha_j} L_j^{1-\alpha_j}, \quad j = 1, 2, \dots, 16 \quad (3)$$

En estas expresiones, β_{Aj} y β_j son parámetros escalares; δdj son parámetros que reflejan la participación de la producción interior de j en la producción total de j ; los parámetros a_{zj} expresan la cantidad mínima de z necesaria para obtener una unidad de j ; v_j es el coeficiente técnico del valor añadido; y, finalmente, α_j y $(1-\alpha_j)$ son parámetros que representan la participación de los factores primarios, capital y trabajo, con respecto al valor añadido.

Por último, se supone que las empresas obtienen sus funciones de demanda de inputs y oferta de outputs mediante la maximización del beneficio sujetas a las restricciones tecnológicas.

2.1.2 Consumo

El modelo considera un único consumidor representativo. La función de utilidad considerada es del tipo Cobb-Douglas (U), y queda definida en términos de ahorro y consumo:

$$U = \sum_{h=1}^{27} \gamma_h \ln C_h + \gamma_s \ln S \quad (4)$$

⁴ Se muestran en el artículo las principales ecuaciones del modelo.



En (4), los parámetros γ_h y γ_s reflejan la parte de la renta disponible destinada a los bienes de consume h y/o para el ahorro privado. S representa el ahorro y C_h expresa el consume privado del bien h .

La desigualdad (5) muestra la restricción presupuestaria para el consumidor representativo⁵:

$$\sum_{h=1}^{27} p_h (1 + vat_h) C_h + p_i S = \sum_{h=1}^{27} p_h^F C_h + p_i S \leq YD \quad (5)$$

La suma del lado izquierdo de la desigualdad es el gasto final en bienes de consumo. El parámetro vat_h es el tipo del impuesto sobre el valor añadido para el bien h , y p_h^F es su precio final para el consumo, impuestos incluidos. El ahorro privado está también incluido en la expresión, valorándose a precios de ahorro/inversión, p_i .

El lado derecho de la desigualdad (5) muestra la renta disponible, YD . Esta renta procede del alquiler de los bienes de capital (K) y del trabajo (L), a los precios r y w respectivamente. Adicionalmente, las familias reciben transferencias del sector público, (TPS), indicadas por el IPC (cpi), y reciben transferencias del sector exterior (TFS), aunque su importancia cuantitativa total es mínima. Finalmente, las familias tienen que pagar las contribuciones a la Seguridad Social y el impuesto sobre la renta, cuyos tipos impositivos son ess y τ , respectivamente.

Por tanto, la renta disponible del único consumidor representativo⁶ está dada por (6):

$$YD = (1 - \tau)[rK + wL(1 - u) + cpi TPS + TFS - ess wL(1 - u)] \quad (6)$$

El consumidor representativo deriva su función de demanda de consumo mediante la maximización de su función de utilidad sujeta a la restricción presupuestaria representada por (5).

2.1.3 Sector Público

La actividad del Sector Público consiste, por otra parte, en la provisión de servicios públicos, mediante el uso de tecnología de "Servicios no destinados a la venta" (j_{16}), mientras, por otra parte, en la demanda de bienes (consumo público, $C_{j_{16}}^G$) y bienes de inversión (C_i^G). En este sentido, este agente puede ser considerado como maximizador de una función de utilidad de Leontief (U^G), definida por (7):

$$U^G = \min \{C_{j_{16}}^G, \gamma^G C_i^G\} \quad (7)$$

⁵ Debido a la forma de la función de utilidad del consumidor-monótonamente creciente- esta débil desigualdad debe ser considerada como una igualdad en el equilibrio. El mismo comentario es válida para la expresión (8)-restricción presupuestaria.

⁶ Como se comentará más adelante, u es una variable endógena que refleja el nivel de desempleo.

donde γ^G es un parámetro de la política económica que refleja la existencia de una proporción fija entre el consumo y la inversión públicos.

La restricción presupuestaria que el sector público afronta puede expresarse por la desigualdad (8):

$$p_{j16}C_{j16}^G + p_i C_i^G \leq R^G + p_i w_i^G - cpi \text{ TPS} \quad (8)$$

El lado izquierdo de la desigualdad refleja el gasto público en consume e inversión. En el lado derecho, los ingresos impositivos son (R^G), de los cuales deben sustraerse las transferencias pagadas a las familias. w_i^G representa el stock de deuda que el gobierno genera cuando entra en déficit. El resto de los sectores podrían comprar esta deuda al mismo precio que los precios del ahorro/inversión, p_i .

Con respecto a los ingresos impositivos totales R^G , el modelo incluye impuestos netos sobre la producción, contribuciones empresariales a la Seguridad Social, contribuciones de los empleados, impuestos sobre las importaciones y el impuesto sobre el valor añadido. Los componentes de la recaudación impositiva (a) a (f) están especificados en las expresiones (9) a (14) respectivamente:

a) Impuestos sobre la producción (Rt):

$$Rt = \sum_{j=1}^{16} t_j \left[\sum_{z=1}^{16} p_z X_{zj} + w(1 + esc_j)L_j + rK_j \right] \quad (9)$$

La expresión anterior implica que la producción interior de cada sector está sujeta a un impuesto al tipo t_j . El precio de producción para el sector z es p_z . Finalmente, esc_j establece el tipo de las contribuciones a la Seguridad Social de las empresas.

b) Contribuciones a la Seguridad Social de los trabajadores ($Resc$):

$$Resc = \sum_{j=1}^{16} esc_j w L_j \quad (10)$$

c) Impuestos sobre las importaciones ($Rtarif$):

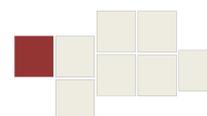
$$Rtarif = \sum_{j=1}^{16} tarif_j p_m Qm_j \quad (11)$$

$tarif_j$ es el tipo impositivo arancelario para el sector j , mientras que p_m es el índice de precios ponderado de los productos importados la ponderación.

d) Impuesto sobre el Valor Añadido ($Rvat$):

$$Rvat = \sum_{h=1}^9 vat_h p_h C_h \quad (12)$$

e) Contribuciones de los trabajadores a la Seguridad Social ($Ress$):



$$Re\ ss = ess\ wL(1-u) \quad (13)$$

f) Impuesto sobre la renta ($R\tau$):

$$R\tau = \tau[rK + wL(1-u) + cpi\ TPS + TFS - ess\ wL(1-u)] \quad (14)$$

Las ecuaciones (9) a (14) muestran los impuestos incluidos en el modelo de referencia.

2.1.4 Sector exterior

El modelo considera un único sector exterior que incluye al resto de España, a la Unión Europea y al resto del mundo

$$ROWD = \sum_{j=1}^{27} rowp\ IMP_j - \sum_{h=1}^1 TROW_h - \sum_{j=1}^{27} rowp\ EXP_j \quad (15)$$

donde IMP_j representará las importaciones de productos extranjeros del sector j , EXP_j las exportaciones de productos del sector j y $TROW_h$ las transferencias procedentes del exterior para los consumidores h . El déficit o superávit del sector exterior vendrá dado por $ROWD$.

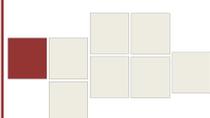
2.1.5 Mercado de trabajo

Las funciones de demanda de capital y trabajo se obtienen minimizando el coste de obtener el valor añadido. Para el factor capital, se supone que la oferta es perfectamente inelástica y, por tanto, el factor está siempre plenamente ocupado. No obstante, el modelo permite rigideces en el mercado de trabajo por lo que el desempleo es posible. Más específicamente, se considera la (17) entre el salario real y el nivel de desempleo:

$$\left(\frac{w}{cpi}\right) = \left(\frac{1-u}{1-u_0}\right)^{1/\beta_d} \quad (16)$$

Esta formulación del Mercado de trabajo en la modelización de los MEGA's se debe a Kehoe *et al.* (1995), siguiendo lo establecido por Oswald (1982). La variable (w/cpi) representa el salario real; u es el nivel de desempleo; u_0 es un parámetro que refleja el nivel de desempleo en el equilibrio inicial; y β_d es un parámetro que expresa la sensibilidad del salario real al nivel de desempleo.

Este último parámetro puede tomar valores entre cero e infinito. Si $\beta_d = 0$, el salario real se ajustará suficientemente de forma que el desempleo permanecerá constante e igual al del equilibrio inicial. Si $\beta_d = \infty$, la situación es exactamente la opuesta, esto significa que el salario real permanece constante y el nivel de desempleo varía. Para valores intermedios, los mayores valores del parámetro representarán una mayor rigidez del salario. En otras palabras, la sensibilidad del salario real al nivel de desempleo, disminuye.



En las simulaciones que se han llevado a cabo, los cálculos se han realizado para diferentes valores de este parámetro. Específicamente, los valores extremos $\beta_d = 0$ y $\beta_d = \infty$ han sido utilizados, así como otro valor respaldado por la literatura econométrica ($\beta_d = 1.25$, ver Andrés *et al.*, 1990).

2.1.6 Equilibrio

La noción de equilibrio que utiliza el modelo es el de equilibrio competitivo walrasiano, ampliado para incluir no sólo productores y consumidores, sino también al sector público y al sector exterior (ver, por ejemplo, Shoven y Whalley, 1992). Específicamente, el equilibrio económico se determina por un vector de precios, un vector de niveles de actividad, y un conjunto de macro variables de forma tal que la oferta iguala a la demanda en todos los mercados, con la única excepción del mercado de trabajo, como se ha mencionado anteriormente. Más ampliamente, cada uno de los agentes económicos incluidos en el modelo realiza sus elecciones óptimas bajo sus respectivas restricciones, *i.e.*, los agentes desarrollan sus soluciones óptimas de equilibrio.

La demanda final incluye varios sectores. Por un lado, los sectores de demanda no consumida, la inversión y las exportaciones; y por otro lado, la demanda de bienes de consumo de las familias. En nuestro caso contaremos con veintisiete tipos de bienes – identificados con los sectores productivos– y un consumidor representativo. Cada consumidor demandará bienes de consumo presente. El resto de su renta disponible constituye su ahorro. Las compras del consumidor representativo se financian, principalmente, con los ingresos derivados de la venta de sus dotaciones iniciales de factores. Todo se resume en (3):

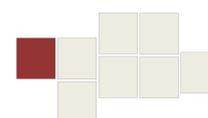
$$YDISP_h = \text{Renta Bruta} - \text{Total de Impuestos Directos}$$

$$YDISP_h = w L_h + r K_h + cpi TPS_h + TROW_h - DT_h (r K_h + cpi TPS_h + TROW_h) - DT_h (w L_h - WC_h w L_h) - WC_h w L_h \quad (17)$$

donde w y r serán los precios de los factores trabajo y capital respectivamente y cpi será un índice de precios al consumo. Por lo tanto, cada consumidor estará maximizando la utilidad que le reportan los bienes de consumo CD_{jh} y de ahorro SD_h sujeto a la restricción presupuestaria de su renta disponible.

$$\begin{aligned} \text{maximizar} \quad & U_h(CD_{jh}, SD_h) = \left(\prod_{j=1}^{27} CD_{jh}^{\alpha_{jh}} \right) SD_h^{\beta_h} \\ \text{s.a.} \quad & p_j CD_{jh} + invp SD_h = YDISP_h \end{aligned} \quad (18)$$

Con respecto a la inversión y el ahorro, importa comentar que éste es un modelo de los denominados *saving driven model*, ésto es, la ecuación de cierre del modelo se define de tal forma que la inversión es exógena, permitiendo al ahorro que se defina a partir de la función de utilidad de los consumidores que siguen una tecnología de Cobb-Douglas



en su elección y dejando que los déficits, tanto los del sector público como los del sector exterior, se determinen endógenamente:

$$\sum_{j=1}^{27} INV_j p_{inv} = \sum_{h=1}^1 SD_h p_{inv} + PD + ROWD \quad (19)$$

Finalmente decir que consideraremos pleno uso de los factores, tanto trabajo como capital. Además, los niveles de actividad del gobierno y de los sectores exteriores serán fijos, permitiendo que funcionen como variables endógenas los precios relativos, los niveles de actividad de los sectores productivos y los déficits públicos y exterior, como acabamos de explicar.

Con esto, el equilibrio será un estado de la economía en el que los consumidores maximizarán su utilidad, los sectores productivos maximizarán sus beneficios netos de impuestos y los ingresos del sector público coincidirán con los pagos de los diferentes agentes económicos. En este equilibrio, las cantidades ofrecidas serán iguales a las demandadas en todos los mercados.

Formalmente, el modelo reproducirá un estado de equilibrio de la economía andaluza donde las funciones de oferta y demanda de todos los bienes se obtendrán como la solución de los problemas de maximización de utilidad y beneficios. El resultado será un vector de precios de bienes y de factores, de niveles de actividad y de recaudaciones impositivas tales, que satisfagan las condiciones anteriormente descritas.

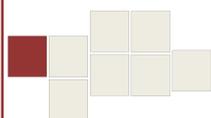
Siguiendo estas especificaciones, se reproducen los datos registrados en la MCS como un equilibrio microeconómico de referencia *-benchmark equilibrium-* en el que todos los precios (endógenos y exógenos) tienen nivel unitario en el momento inicial. A partir de ahí introduciremos el incremento en la demanda de cada sector asociado al logro del objetivo PASENER provocando un *shock exógeno*, pudiéndose posteriormente evaluar los cambios comparando el nuevo equilibrio alcanzado con la situación original. Este modelo se ha implementado a través del programa GAMS (Brooke, Kendrick y Meeraus, 1998) utilizando como "solver" MINOS.

2.2 Los datos

Los usos de la biomasa que se han considerado han sido el térmico, la generación eléctrica y su uso en plantas de co-combustión. En este artículo se asume la hipótesis de que el logro del objetivo del PASENER se alcanzará empleando una y otra tecnología en los porcentajes expresados.

Las plantas tipo y la desagregación de costes son las siguientes.

Las Tablas 2 a 7 detallan los costes de inversión (Tablas 2, 4 y 6) y de operación y mantenimiento (O & M) (Tablas 3, 5 y 7) asociados a la planta tipo. Los costes de O & M se mantienen durante todo el periodo de vida útil mientras que los primeros sólo durante el periodo de construcción de la planta.



2.2.1 Biomasa para uso térmico

Se ha considerado una caldera de dimensiones medias para uso residencial centralizado, de casi 300 Kw, por considerar que es un tamaño óptimo y que incluso si no se instala en la construcción de la edificación sigue siendo amortizable en un plazo muy reducido.

Las Tablas 2 y 3 detallan, respectivamente, los costes de inversión y de operación y mantenimiento (O & M) asociados a la planta tipo. Los costes de O & M se mantienen durante todo el periodo de vida útil mientras que los primeros sólo durante el periodo de construcción de la planta.

| Concepto | I | II (I/TOTAL) | III | IV (100%- III) | Interior (€) |
|---------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|
| | Inversión (€) | % Inversión | % Importac. | % Interior | |
| Caldera | 63,700.00 | 65.00% | 50.00% | 50.00% | 31,850.00 |
| Almacenamiento y movim. Biomasa | 11,760.00 | 12.00% | 0.00% | 100.00% | 11,760.00 |
| Distribución Agua | 14,700.00 | 15.00% | 0.00% | 100.00% | 14,700.00 |
| Ingeniería, Tramit | 7,840.00 | 8.00% | 0.00% | 100.00% | 7,840.00 |
| Total | 98,000.00 | 100.00% | | | 66,150.00 |

Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

| Costes O&M | Año | % Costes | Costes totales (20 años) | % Interior | Valor interior |
|------------------------------------|------------------|----------|-----------------------------|------------|-------------------|
| Operación y Mantenimiento 350€ tep | 11,049.00 | 35.14% | 143,857.98 | 80% | 115,086.38 |
| Seguros | 343.00 | 1.09% | 4,465.86 | 95% | 4,242.57 |
| Compra de Biomasa | 14,325.00 | 45.56% | 186,511.50 | 100% | 186,511.50 |
| Gastos Financieros | 5,721.77 | 18.20% | 111,901.04 | 70% | 78,330.73 |
| Total | 31,438.77 | | 446,736.38 | | 384,171.18 |

Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

2.2.2 Biomasa para generación eléctrica

Se ha tomado como plata representativa una instalación de 5 Mw.

Las Tablas 4 y 5 detallan, respectivamente, los costes de inversión y de operación y mantenimiento (O & M) asociados a la planta tipo. Los costes de O & M se mantienen durante todo el periodo de vida útil mientras que los primeros sólo durante el periodo de construcción de la planta.

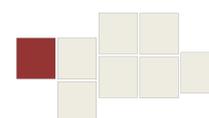


Tabla 4: Costes de inversión de una planta de biomasa con capacidad de 5 Mw

| Concepto | I | II | III | IV (100%-III) | Interior (€) |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------|---------------|---------------------|
| | Inversión (€) | (I/TOTAL) % Inversión | % Importac. | % Interior | |
| Grupo Caldera-Turbina-Generador | 6,425,000.00 | 70.45% | 50.00% | 50.00% | 3,212,500.00 |
| Obra Civil | 1,075,000.00 | 11.79% | 0.00% | 100.00% | 1,075,000.00 |
| Infraestructuras electricas | 560,000.00 | 6.14% | 20.00% | 80.00% | 448,000.00 |
| Torre de refrigeración | 375,000.00 | 4.11% | 20.00% | 80.00% | 300,000.00 |
| Tratamiento de aire | 310,000.00 | 3.40% | 50.00% | 50.00% | 155,000.00 |
| Ingeniería, Trámit | 375,000.00 | 4.11% | 0.00% | 100.00% | 375,000.00 |
| Total | 9,120,000.00 | | | | 5,565,500.00 |

Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

Tabla 5: Costes de operación y mantenimiento (O & M) de una planta de biomasa con capacidad de 5 Mw

| Costes O&M | Año | % Costes | Costes totales (20 años) | % Interior | Valor interior |
|---------------------------|-------------------|----------|--------------------------|------------|---------------------|
| Operación y Mantenimiento | 69,750.00 | 12.78% | 908,145.00 | 80% | 726,516.00 |
| Seguros | 31,920.00 | 5.85% | 415,598.40 | 95% | 394,818.48 |
| Compra de Biomasa | 337,500.00 | 61.85% | 4,394,250.00 | 100% | 4,394,250.00 |
| Gastos Financieros | 106,495.00 | 19.52% | 2,082,729.60 | 70% | 1,457,910.72 |
| Total | 545,665.00 | | 7,800,723.00 | | 6,973,495.20 |

Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

50

2.2.3 Biomasa en plantas de co-combustión

Se ha considerado una planta térmica de carbón tipo de 340 Mw, una sustitución de carbón por biomasa de un 6,7%, lo que supone una potencia de 20,5 Mw.

Las Tablas 6 y 7 detallan, respectivamente, los costes de inversión y de operación y mantenimiento (O & M) asociados a la planta tipo. Los costes de O & M se mantienen durante todo el periodo de vida útil mientras que los primeros sólo durante el periodo de construcción de la planta.

Tabla 6: Costes de inversión de una planta de biomasa co-combustión con capacidad de 1 Mw (en Planta de 20,5 Mw, en Central Térmica de Carbón de 340 Mw, en supuesto de combustión en misma caldera)

| Concepto | I | II | III | IV (100%-III) |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------|---------------|
| | Inversión (€) | (I/TOTAL) % Inversión | % Importac. | % Interior |
| Pretratamiento de la biomasa | 2,232,450.00 | 45.00% | 10.00% | 90.00% |
| Obra Civil | 1,587,520.00 | 32.00% | 0.00% | 100.00% |
| Infraestructuras electricas | 744,150.00 | 15.00% | 5.00% | 95.00% |
| Ingeniería, Trámit | 396,880.00 | 8.00% | 0.00% | 100.00% |
| Total 1Mw | 242,000.00 | | | |

| | | | | |
|----------------------|---------------------|----------------|--|--|
| Total 20.5 Mw | 4,961,000.00 | 100.00% | | |
|----------------------|---------------------|----------------|--|--|

Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

Tabla 7: Costes de operación y mantenimiento (O & M) de una planta de biomasa co-combustión con capacidad de 1 Mw (en Planta de 20,5 Mw, en Central Térmica de Carbón de 340 Mw, en supuesto de combustión en misma caldera)

| Costes O&M | Año | % Costes | Costes totales (20 años) | % Interior |
|---------------------------|---------------------|----------|--------------------------|------------|
| Operación y Mantenimiento | 45,000.00 | 0.62% | 585,900.00 | 90% |
| Seguros | 17,363.50 | 0.24% | 226,072.77 | 95% |
| Compra de Biomasa | 6,918,750.00 | 95.16% | 90,082,125.00 | 100% |
| Gastos Financieros | 289,644.50 | 3.98% | 5,664,703.09 | 70% |
| Total | 7,270,758.00 | | 96,558,800.86 | |

Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

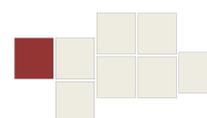
3. Resultados

A partir del modelo de equilibrio general descrito anteriormente, y construido sobre la base de la MCS actualizada para Andalucía para el año 2008, en este apartado se recoge la valoración del incremento productivo por sectores que supone la inversión y el funcionamiento operativo de las plantas de biomasa de uso térmico, de generación eléctrica y de co-combustión necesarias para el cumplimiento de los objetivos fijados en el plan PASENER, cifrados para estas tecnologías en una capacidad de 649 Ktep, 256MW y 122MW respectivamente, y sobre la base de una vida útil de la planta 20 años.

En la Tabla 8 se observa que si los objetivos fijados en el plan PASENER relativos a los tres tipos de tecnologías relacionadas directamente con la biomasa se cumplieran plenamente, se originaría un incremento del 4,02 por ciento de la producción a lo largo de un periodo temporal coincidente con el de la vida útil de las plantas tipo, esto es, de 20 años; debido tanto a las inversiones necesarias para instalar las nuevas plantas como al funcionamiento operativo de las plantas durante su vida útil. De los tres tipos de tecnologías, la biomasa para la producción de energía térmica originaría prácticamente la mitad de ese incremento productivo, y las de co-combustión en torno al 40 por ciento del mismo.

En este sentido, es relevante mostrar, que el origen de estos incrementos productivos está en las inversiones iniciales que son necesarias efectuar en las plantas energéticas, siendo, tal como muestra la Tabla 9, relativamente muy baja en las plantas de co-combustión. Como se puede apreciar en dicha tabla, representa tan sólo el 3,46 por ciento de las inversiones globales en plantas de biomasa.

Atendiendo a la división por sectores, en la Tabla 8 se aprecia en su conjunto, que los sectores que experimentan mayores cambios son los relacionados con los servicios destinados a la venta (cuya tasa de variación es del 12,74 por ciento), seguido del sector de elaborados metálicos (que crece un 10, 01 por ciento) y de los sectores agrícolas y ganaderos, con tasas de variación del 8,71 y 8,69 por ciento. Por otra parte, los sectores asociados a la industria experimentan en su conjunto variaciones positivas que rondan



el 3 por ciento, con la excepción de algunas industrias que no están asociadas a esta energía, como la de alimentación o la industria del transporte. Asimismo, el sector de la producción y distribución de energía eléctrica y el de Producción y distribución de gas, vapor de agua y agua caliente crecen en torno al 4 por ciento.

No obstante, los resultados anteriores deben ser matizados para valorar el significado de esos incrementos relativos. En la última columna de la Tabla 8 se muestra el valor de la participación del incremento productivo de cada sector sobre el incremento productivo global, y la participación de cada sector y tecnología en dicho incremento. Con estas participaciones se puede observar la importancia de cada incremento en la economía general andaluza. En este sentido, cabe destacar, que más del 55 por ciento del incremento productivo está asociado al sector servicios, destacando dentro del sector de los servicios el destinado a las ventas que representan el 29 por ciento del incremento productivo global. Por su parte, los sectores agrícola y ganadero representan conjuntamente algo más del 7 por ciento del incremento global, siendo especialmente notoria la participación del 5,6 por ciento del primer sector. Asimismo, el sector de la construcción representa también en torno a un 5 por ciento del incremento global productivo y ello a pesar de que sus tasas de variación no son especialmente relevantes, tan sólo de un 1,4 por ciento. Por último cabe decir que los sectores industriales que tienen una mayor participación en el incremento productivo son los sectores de elaborados metálicos y maquinaria.

Diferenciando por tecnologías que emplean biomasa, cabe decir que la de uso térmico genera mayores incrementos productivos en el sector terciario, así como en el resto de casi todos los demás sectores productivos. No obstante, la tecnología que genera mayores incrementos productivos en el sector agrícola, tanto por su tasa de variación como por su participación en dicho incremento es la de co-combustión. Esta tecnología genera una variación porcentual de la producción agrícola de casi el 5 por ciento, representando dicho incremento un 3,37 por ciento del incremento productivo global que originan las nuevas plantas de renovables a partir de biomasa en Andalucía. Por otro lado, merece la pena comentar el relativamente importante impacto que tienen las plantas de generación eléctrica en los sectores minería y siderurgia, elaborados metálicos y maquinaria, ya que su participación en el incremento productivo global representa en torno al uno por ciento en cada uno de estos sectores. En este sentido, cabe hacer notar que la relevancia de los incrementos productivos de estos sectores puede asociarse a la puesta en funcionamiento de estas nuevas plantas, pues una vez que estas han sido construidas, los sectores mayormente afectados son el agrícola y los relacionados con los servicios. Es así, que a medio plazo puede ser una buena oportunidad para reforzar los ingresos del mundo rural y promover actividades económicas nuevas asociadas a los servicios demandados desde las nuevas plantas.

Tabla 8a: Efectos sobre la producción andaluza asociados al desarrollo de la biomasa

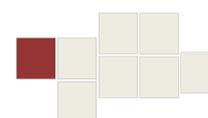
| Cod | Sectores productivos | Producción | | Variación porcentual | | | |
|-----|----------------------|-------------|-------------|----------------------|------|------|------|
| | | Original | Simulac. | Total | T* | E* | C* |
| 1 | Agricultura | 9360929,333 | 10176021,5 | 8,71 | 3,15 | 0,63 | 4,93 |
| 2 | Ganadería | 2240881,794 | 2435546,565 | 8,69 | 3,66 | 0,84 | 4,19 |
| 3 | Pesca | 961208,2725 | 993721,1592 | 3,38 | 1,65 | 0,60 | 1,13 |

| | | | | | | | |
|----|---|-------------|-------------|-------|------|------|------|
| 4 | Extracción de productos energéticos | 2855654,767 | 2940701,816 | 2,98 | 1,42 | 0,66 | 0,90 |
| 5 | Resto extractivas | 2590448,338 | 2654867,274 | 2,49 | 1,14 | 0,87 | 0,47 |
| 6 | Refino de petróleo y tratamiento residuos nucleares | 12271300,29 | 12601872,3 | 2,69 | 1,29 | 0,56 | 0,84 |
| 7 | Producción y distribución de energía eléctrica | 4706444,828 | 4898131,32 | 4,07 | 2,00 | 0,82 | 1,26 |
| 8 | Producción y distribución de gas, vapor de agua y agua caliente | 506284,0364 | 526078,6872 | 3,91 | 1,69 | 1,24 | 0,98 |
| 9 | Captación, depuración y distribución de agua | 1082830,639 | 1127742,857 | 4,15 | 1,97 | 0,70 | 1,47 |
| 10 | Alimentación | 31299094,63 | 31845659,93 | 1,75 | 0,85 | 0,34 | 0,55 |
| 11 | Textil y piel | 7265357,081 | 7543052,964 | 3,82 | 1,88 | 0,67 | 1,27 |
| 12 | Elaborados de madera | 4460812,623 | 4591856,04 | 2,94 | 1,56 | 0,61 | 0,77 |
| 13 | Químicas | 13347205,16 | 13776941,62 | 3,22 | 1,73 | 0,55 | 0,94 |
| 14 | Minería y siderurgia | 5580485,878 | 5877790,343 | 5,33 | 2,29 | 2,66 | 0,37 |
| 15 | Elaborados metálicos | 4419720,819 | 4862143,787 | 10,01 | 5,36 | 3,96 | 0,69 |
| 16 | Maquinaria | 16080156,93 | 16567381,73 | 3,03 | 1,52 | 0,85 | 0,66 |
| 17 | Vehículos | 7059812,996 | 7239169,43 | 2,54 | 1,24 | 0,53 | 0,77 |
| 18 | Materiales de construcción | 7208831,807 | 7362323,677 | 2,13 | 0,97 | 0,65 | 0,51 |
| 19 | Transporte | 2322264,434 | 2341301,986 | 0,82 | 0,41 | 0,19 | 0,22 |
| 20 | Otras manufacturas | 9306621,488 | 9762893,129 | 4,90 | 2,95 | 1,09 | 0,87 |
| 21 | Construcción | 48650638,07 | 49329782,8 | 1,40 | 0,69 | 0,25 | 0,45 |
| 22 | Comercio de carburantes | 2147196,837 | 2216458,695 | 3,23 | 1,58 | 0,60 | 1,05 |
| 23 | Resto comercio | 39031290,34 | 40414494,3 | 3,54 | 1,68 | 0,44 | 1,42 |
| 24 | Transporte y Comunicaciones | 19593291,06 | 20295807,49 | 3,59 | 1,79 | 0,74 | 1,05 |
| 25 | Otros servicios | 28924041,41 | 30579122,15 | 5,72 | 3,38 | 1,02 | 1,32 |
| 26 | Servicios destinados a la venta | 31082097,28 | 35040582,55 | 12,74 | 6,30 | 2,27 | 4,17 |
| 27 | Servicios no destinados a la venta | 26174924,08 | 26220916,31 | 0,18 | 0,09 | 0,03 | 0,06 |
| | TOTAL | 340529825,2 | 354222362,4 | 4,02 | 2,01 | 0,77 | 1,25 |

*T= plantas de biomasa de uso térmico; E = plantas de generación eléctrica; C= plantas de co-combustión.
Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

Tabla 8b: Efectos sobre la producción andaluza asociados al desarrollo de la biomasa

| Cod. | Sector productivo | Participación en el incremento de la producción | | | |
|------|---|---|------|------|------|
| | | Total | T* | E* | C* |
| 1 | Agricultura | 5,95 | 2,15 | 0,43 | 3,37 |
| 2 | Ganadería | 1,42 | 0,60 | 0,14 | 0,69 |
| 3 | Pesca | 0,24 | 0,12 | 0,04 | 0,08 |
| 4 | Extracción de productos energéticos | 0,62 | 0,30 | 0,14 | 0,19 |
| 5 | Resto extractivas | 0,47 | 0,22 | 0,17 | 0,09 |
| 6 | Refino de petróleo y tratamiento residuos nucleares | 2,41 | 1,16 | 0,50 | 0,76 |



| | | | | | |
|----|---|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 7 | Producción y distribución de energía eléctrica | 1,40 | 0,69 | 0,28 | 0,43 |
| 8 | Producción y distribución de gas, vapor de agua y agua caliente | 0,14 | 0,06 | 0,05 | 0,04 |
| 9 | Captación, depuración y distribución de agua | 0,33 | 0,16 | 0,06 | 0,12 |
| 10 | Alimentación | 3,99 | 1,95 | 0,78 | 1,26 |
| 11 | Textil y piel | 2,03 | 1,00 | 0,36 | 0,67 |
| 12 | Elaborados de madera | 0,96 | 0,51 | 0,20 | 0,25 |
| 13 | Químicas | 3,14 | 1,69 | 0,53 | 0,92 |
| 14 | Minería y siderurgia | 2,17 | 0,93 | 1,09 | 0,15 |
| 15 | Elaborados metálicos | 3,23 | 1,73 | 1,28 | 0,22 |
| 16 | Maquinaria | 3,56 | 1,79 | 1,00 | 0,78 |
| 17 | Vehículos | 1,31 | 0,64 | 0,27 | 0,40 |
| 18 | Materiales de construcción | 1,12 | 0,51 | 0,34 | 0,27 |
| 19 | Transporte | 0,14 | 0,07 | 0,03 | 0,04 |
| 20 | Otras manufacturas | 3,33 | 2,00 | 0,74 | 0,59 |
| 21 | Construcción | 4,96 | 2,45 | 0,91 | 1,60 |
| 22 | Comercio de carburantes | 0,51 | 0,25 | 0,09 | 0,16 |
| 23 | Resto comercio | 10,10 | 4,80 | 1,26 | 4,04 |
| 24 | Transporte y Comunicaciones | 5,13 | 2,56 | 1,07 | 1,51 |
| 25 | Otros servicios | 12,09 | 7,15 | 2,15 | 2,79 |
| 26 | Servicios destinados a la venta | 28,91 | 14,30 | 5,15 | 9,46 |
| 27 | Servicios no destinados a la venta | 0,34 | 0,17 | 0,06 | 0,11 |
| | TOTAL | 100,00 | 49,91 | 19,10 | 30,99 |

*T= plantas de biomasa de uso térmico; E= plantas de generación eléctrica; C= plantas de co-combustión.
Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

Tabla 9: Inversión necesaria en plantas de biomasa para alcanzar los objetivos PASANER

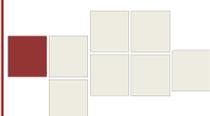
| Tipo de planta | Inversión | Participación |
|---------------------------------|--------------------|---------------|
| Plantas de co-combustión 1 Mw | 29.568.286 | 3,46 |
| Plantas de uso térmico | 572.480.792 | 67,03 |
| Plantas de generación eléctrica | 251.977.781 | 29,50 |
| Total | 854.026.858 | 100,00 |

Elaboración M. A. Cardenete; J. M. González, M^a del P. Pablo – Romero y R. Román, 2009.

4. Conclusiones

A partir del modelo de equilibrio general desarrollado sobre la base de la MCS actualizada para Andalucía para el año 2008 puede afirmarse que si los objetivos fijados en el plan PASANER relativos a la capacidad de las plantas de biomasa de uso térmico, de generación eléctrica y de co-combustión, cifrados para estas tecnologías en una capacidad de 649 Ktep, 256MW y 122MW respectivamente, y sobre la base de la vida útil de cada planta, se originaría un incremento del 4,02 por ciento de la producción, del que prácticamente la mitad está asociado a las plantas de energía térmica.

Atendiendo a la división por sectores, se aprecia en su conjunto, que más del 55 por ciento del incremento productivo está asociado al sector servicios, destacando dentro



del mismo el destinado a las ventas que representan el 29 por ciento del incremento productivo global. Los sectores agrícola y ganadero representan conjuntamente algo más del 7 por ciento del incremento global. Por tanto, a medio plazo puede ser una buena oportunidad para reforzar las rentas percibidas en el ámbito rural y promover actividades económicas nuevas asociadas a los servicios demandados desde las nuevas. Por último, cabe hacer notar, que aunque las participaciones en el incremento productivo global no sean tan notorias como los sectores anteriormente comentados, el sector de elaborados metálicos y de minería y siderurgia experimentan un importante crecimiento, que se puede asociar principalmente a la puesta en funcionamiento de las nuevas plantas.

5. Referencias utilizadas

ANDRÉS, J., J. J. DOLADO, C. MOLINAS, M. SEBASTIÁN y A. ZABALZA (1990): The Influence of Demand and Capital Constraints on Spanish Unemployment, en J. Drèze y C. Bean (eds.), *Europe's Unemployment Problem*, Cambridge: MIT Press.

BROOKE, A., KENDRICK, D. y MEERAUS, A. (1988): *GAMS. A User's Guide*. The Scientific Press.

CARDENETE M. A. (1998): "Una Matriz de Contabilidad Social para la Economía Andaluza: 1990", *Revista de Estudios Regionales*, nº 52, pp. 137-153.

CARDENETE M. A. y SANCHO, F. (2003): "Evaluación de Multiplicadores Contables en el Marco de una Matriz de Contabilidad Social Regional", *Investigaciones Regionales*, 2, pp. 121-139.

CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPRESA (2007): *Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética*. Agencia Andaluza de Energía. Junta de Andalucía.

IEA (1999): *Sistema de Cuenta Económicas de Andalucía. Marco Input-Output 1995*. Volumen I y II. Edit. Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla. España.

IEA (2009): *Contabilidad Regional de Andalucía de 1995 (CRA-95)*. Instituto de Estadística de Andalucía. Sevilla <http://www.juntadeandalucia.es:9002/craa/>

INE (2009): *Contabilidad Regional, Base de Datos TEMPUS, 1995*, Instituto de Nacional de Estadística. <http://www.ine.es/GSTConsul/arbolAction.do>

INE (1999): *Contabilidad Regional de España de 1995, Base 1986 (CRE-95)*. INE Subdirección General de Cuentas Nacionales. Madrid.

INE (2009): *Marco Input-Output de España 1994*. Instituto Nacional de Estadística <http://www.ine.es/daco/daco42/cne00/cneio2000.htm>

KEHOE, T.J., MANRESA, A., POLO, C. y SANCHO, F. (1988): "Una matriz de contabilidad social de la economía española", en *Estadística Española*, 30(117):5-33.

OSWALD, A. J. (1982): "The Microeconomic Theory of the Trade Union", *Economic Journal*, 92, pp. 576-595.

SHOVEN, J.B. y WHALLEY, J. (1992): *Applying General Equilibrium*. Cambridge University Press. New York.

