



Ciemat

Centro de
Investigaciones Energéticas,
Medioambientales
y Tecnológicas

Miner

MASTER

Costes y Beneficios Externos de la Energía. Metodologías, Resultados e Influencia sobre la Competitividad de las Energías Renovables.

R. Sáez
H. Cabal
M. Varela

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED
de

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

Costes y Beneficios Externos de
la Energía. Metodologías, Resultados
e Influencia sobre la Competitividad
de las Energías Renovables.

R. Sáez
H. Cabal
M. Varela

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Información y Documentación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, 28040-MADRID, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del DOE para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. La catalogación se ha hecho utilizando el documento DOE/TIC-4602 (Rev. 1) Descriptive Cataloguing On-Line, y la clasificación de acuerdo con el documento DOE/TIC.4584-R7 Subject Categories and Scope publicados por el Office of Scientific and Technical Information del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Depósito Legal: M -14226-1995
ISSN: 1135 - 9420
NIPO: 238-99-003-5

Editorial CIEMAT

CLASIFICACIÓN DOE Y DESCRIPTORES

290201

ENERGY CONVERSION; COST BENEFIT ANALYSIS; ENVIRONMENT; SPAIN;
RENEWABLE ENERGIES; ECONOMY; MARKET

“Metodologías y Resultados de la Evaluación de los Costes y Beneficios Externos de la Energía”

Sáez, R.; Cabal, H y Varela, M.

38 pp. 6 figs. 30 refs.

Resumen:

Este estudio intenta dar una visión resumida del concepto de externalidad en la producción de energía, la utilidad social y económica de su evaluación y consideración como apoyo a la toma de decisiones políticas en materias de regulación ambiental, elección de tecnologías de nuevas plantas, establecimiento de prioridades en planes sobre energía etc. Se describen las externalidades medioambientales mas relevantes, como son los efectos sobre la salud, ecosistemas, materiales y clima, así como algunas de las externalidades socioeconómicas tal como el empleo, incremento del PIB y la reducción y agotamiento de los recursos energéticos. Se han revisado las distintas metodologías utilizadas durante los últimos años así como los principales resultados obtenidos en los estudios mas relevantes realizados internacionalmente sobre este tema. Mención especial ha merecido el estudio europeo “Implementación Nacional de la Metodología Externe en la UE”. Los resultados obtenidos en todos ellos están representados en la Tabla 2 de este estudio. También están expuestos, de forma resumida, los resultados obtenidos en la evaluación de las externalidades medioambientales del sistema eléctrico español en función del ciclo de combustible. En este último caso los resultados obtenidos son mas aproximados al haber sido obtenidos por extrapolación de los obtenidos para diez plantas representativas distribuidas geográficamente por la península. Por último se ha analizado la influencia que puede tener la internalización de los costes externos de las energías convencionales en la competitividad y en el mercado de las energías renovables las cuales originan menos efectos medioambientales y por lo tanto producen costes externos mucho menores. Los mecanismos de internalización y la consideración sobre la conveniencia o no de su inclusión en el precio de la energía han sido también discutidas.

“External Costs and Benefits of Energy. Methodologies, Results and Effects on Renewable Energies Competitivity”

Sáez, R.; Cabal, H y Varela, M.

38 pp. 6 figs. 30 refs.

Abstract:

This study attempts to give a summarised vision of the concept of externality in energy production, the social and economic usefulness of its evaluation and consideration as support to the political decision-making in environmental regulation matters, technologies selection of new plants, priorities establishment on energy plants, etc. More relevant environmental externalities are described, as are the effects on the health, ecosystems, materials and climate, as well as some of the socioeconomic externalities such as the employment, increase of the GDP and the reduction and depletion of energy resources. Different methodologies used during the last years have been reviewed as well as the principals resulted obtained in the most relevant studies accomplished internationally on this topic. Special mention has deserved the European study "National Implementation of the ExterneE Methodology in the EU". Results obtained are represented in Table 2 of this study. Also they are exposed, in a summarised way, the results obtained in the evaluation of environmental externalities of the Spanish electrical system in function of the fuel cycle. In this last case the obtained results are more approximated since have been obtained by extrapolation from the obtained for ten representative plants geographically distributed trough the Peninsula. Finally it has been analysed the influence that the internalization of the external costs of conventional energies can have in the competitiveness and in te market of renewable enrgy, those which originate less environmental effects and therefore produce much smaller external costs. The mechanisms of internalization and the consideration on the convenience or not of their incorporation in the price of energy have been also discussed.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. EL CONCEPTO DE COSTE EXTERNO O EXTERNALIDAD.....	5
3. EXTERNALIDADES MEDIOAMBIENTALES	9
3.1. SALUD.....	9
3.2. ECOSISTEMAS.....	10
3.3. MATERIALES	10
3.4. CLIMA	11
4. EXTERNALIDADES SOCIOECONÓMICAS.....	11
4.1. IMPACTOS MACROECONÓMICOS.....	12
4.2. EMPLEO	13
4.3. REDUCCIÓN/AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS	14
5. METODOLOGÍAS PARA LA CUANTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS EXTERNALIDADES.....	14
6. EVIDENCIA EMPÍRICA DE LOS COSTES Y BENEFICIOS EXTERNOS.....	17
6.1. SOCIAL COSTS OF ENERGY CONSUMPTION. HOHMEYER, 1988	17
6.2. ENVIRONMENTAL COSTS OF ELECTRICITY. OTTINGER ET AL., 1990. PACE UNIVERSITY	17
6.3. VALUATION OF ENVIRONMENT EXTERNALITIES FOR ENERGY PLANNING AND OPERATIONS. BERNOW ET AL., 1990. TELLUS INSTITUTE.....	17
6.4. THE SOCIAL COSTS OF FUEL CYCLES. PEARCE ET AL., 1992.....	18
6.5. THE SOCIAL COSTS OF ELECTRICITY GENERATION. LOCKWOOD, 1992	18
6.6. EXTERNAL COSTS OF ELECTRICITY GENERATION. FRIEDRICH & VOSS, 1993	18
6.7. ASSESSING ENVIRONMENTAL EXTERNALITY COSTS FOR ELECTRICITY GENERATION. TER, 1995.....	18
6.8. THE NEW YORK STATE ENVIRONMENTAL EXTERNALITIES COST STUDY, RCG-TELLUS, 1995.....	19
6.9. EXTERNE: EXTERNALIDADES DE LA ENERGÍA, CE 1995	20
7. AGREGACIÓN DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES CICLOS DE ENERGÍA EN ESPAÑA	22
7.1. METODOLOGÍA EXTERNE	22
7.2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA GENERACIÓN DE UN KWH ELÉCTRICO. APPA, 1999.....	24
8. INFLUENCIA DE LOS COSTES/BENEFICIOS EXTERNOS EN LA COMPETITIVIDAD Y MERCADO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	25
9. MECANISMOS DE INTERNALIZACIÓN DE LOS COSTES/BENEFICIOS EXTERNOS.....	29
10. REFERENCIAS	32

1. INTRODUCCIÓN

El precio de la energía no refleja su verdadero coste, ya que solamente se consideran los costes privados o internos originados en su generación. Sin embargo existen también otros costes externos o externalidades que son producidos en la obtención de la energía pero que el productor no asume. Estos costes recaen de forma indiscriminada sobre la sociedad que paga por ellos. El coste total o real de la energía tendría que incluir tanto los costes internos como los externos para conseguir un mejor funcionamiento del mercado y una economía más eficaz.

El precio de la energía es artificialmente bajo ya que no incluye los costes asociados de los daños producidos sobre el medio ambiente y la salud, por lo que puede considerarse como un subsidio del que disfruta la energía y que paga la sociedad, en su conjunto, de manera no voluntaria e indiscriminada. Los costes externos de las energías convencionales: carbón, petróleo y nuclear principalmente son muy superiores a los de las energías renovables y por lo tanto reciben un mayor subsidio lo que les hace aparentar como energías competitivas y por lo tanto más atractivas que las renovables para los productores.

Sin embargo si al precio de las energías convencionales se les añade los daños ocasionados en los bosques por la lluvia ácida, las consecuencias de un posible cambio climático por las emisiones de CO₂, los graves impactos originados por el accidente de Chernobil, etc., la argumentación del elevado coste de las energías renovables y como consecuencia su falta de competitividad, quedaría invalidada y el "portafolios energético" de los países industrializados cambiaría de forma considerable.

El objetivo fundamental de la política energética no es el de alcanzar un bajo precio de la energía sino el de mejorar el bienestar económico de los consumidores. El bajo precio de la energía podría ser un instrumento para alcanzar ese objetivo pero nunca a costa de la calidad ambiental que también afecta al bienestar de los consumidores. Por tanto si se quieren obtener los mejores beneficios para la sociedad, en la elección de las diferentes opciones energéticas que hoy existen, no deberían tenerse en cuenta solamente los costes privados, que afectan únicamente al inversor, sino además los efectos que la elección de una u otra fuente de energía pueden tener en la calidad ambiental y social del país.

2. EL CONCEPTO DE COSTE EXTERNO O EXTERNALIDAD

Se llaman externalidades o costes externos a todos aquellos costes o beneficios asociados a una actividad económica concreta que recae

indiscriminadamente sobre la sociedad y el medio ambiente y no están incorporados en el precio del producto que los ocasiona. Suponen unos costes o beneficios que no son repercutidos sobre sus responsables, y por lo tanto no son tenidos en cuenta por el mercado. Una externalidad existe siempre que la actividad de una de las partes (productor) provoque una pérdida de bienestar no compensada en la otra (sociedad).

Esto hace que se produzca un “fallo del mercado”, ya que el precio, que es la herramienta de asignación de recursos dentro del mercado, no recoge adecuadamente todos los costes y beneficios asociados al proceso de producción. Por lo tanto, se produce una asignación ineficiente de los recursos. Si hay una externalidad negativa, como la contaminación, el precio será inferior al correcto, y se producirá un bien por encima de su cantidad óptima. Si la externalidad es positiva, el precio estará por encima de su nivel adecuado, y la cantidad producida del bien será inferior a la óptima. La valoración de las externalidades puede conducir a una eficiente asignación de recursos. La eficiencia económica es adecuada cuando existe un óptimo en la utilización de los recursos por lo que se optimiza también el bienestar económico de los miembros de una sociedad teniendo en cuenta la limitación de estos recursos. La eficiencia económica requiere que los niveles de producción y consumo de bienes y servicios sean tales que el valor marginal del bien producido sea igual a su coste marginal. Para bienes consumidos por individuos esto quiere decir que la disposición a pagar de cada individuo por ese bien tiene que ser igual o menor al coste social marginal de producirlo (este coste social incluye el coste privado más los costes externos).

En la producción de energía tienen origen numerosos daños medioambientales, debido a las emisiones, que conllevan costes asociados como por ejemplo costes de reparación y pérdida de bienestar que no son cargados sobre los productores. Los productores incluyen en el precio de la energía la mano de obra, los costes de capital y de operación, el combustible, los impuestos y los seguros. Las externalidades sin embargo reflejan los daños a la salud, al medio ambiente y también el empleo y la seguridad energética. Pero ninguna de ellas está incorporada al precio de la energía y sin embargo estos costes pasan por entero a la sociedad y lo que es peor a las futuras generaciones.

El resultado de la presencia de una externalidad es un fallo en el mercado y una asignación ineficiente de recursos en la economía. Esta ineficiencia afecta a la economía de dos formas:

- Habrá un exceso de emisiones
- Habrá un exceso de producción de ese bien, en este caso energía, que origina la externalidad. (Curvas de Mercado, emisiones, Mercado eléctrico).

Los impactos consecuencia de las emisiones producidas en la generación de energía podrían dejar de ser una externalidad siempre que se redujeran hasta un nivel tal que el coste marginal de reducción de las emisiones fuese igual o mayor al coste marginal de los daños originados por la contaminación. Las metodologías para identificar los costes de reducción de emisiones están bien desarrolladas puesto que están basadas en los costes de ingeniería tradicionales. Sin embargo para la evaluación de los daños marginales ha sido necesario desarrollar metodologías específicas y solo recientemente se ha dispuesto de una evaluación económica lo suficientemente completa, transparente, coherente y global como para ser aplicada de forma sistemática en toda Europa. La determinación económica de los costes marginales de los daños producidos por la contaminación, permite establecer el nivel de contaminación óptimo y puede ser una herramienta en los procesos de regulación ambiental

Las externalidades pueden ser *negativas* como en el caso de los efectos sobre la salud de los contaminantes atmosféricos producidos en la generación eléctrica o en el transporte o en otras actividades industriales. En esta ocasión, el producto al que nos referimos es la energía. En otros casos pueden ser *positivas* como la creación de un área recreacional en una nueva instalación hidroeléctrica; la reducción de erosión por el cambio del uso de la tierra en los cultivos energéticos, o un aumento de empleo etc. con los que se generan efectos que pueden provocar un aumento del bienestar social. Estos se denominan beneficios externos o externalidades positivas. Tanto unas como otras incluyen efectos medioambientales o/y sociales que deben ser valorados.

El *Coste Total* de la energía serán los costes privados (combustible, operación y mantenimiento e inversiones), más los costes externos o externalidades negativas o menos los beneficios o externalidades positivas. Puesto que los costes privados están expresados en términos monetarios, la cuantificación de las externalidades en términos económicos es la forma más objetiva de dar un valor real a la producción de energía.

La razón más importante para la evaluación económica de las externalidades de la energía es la de asegurar una estructura óptima de fuentes de energía que permita satisfacer una determinada demanda energética estableciendo el precio real de la energía y contribuyendo por ello a una más eficiente asignación de los recursos. La presencia de costes externos o externalidades refleja el hecho que los productores no están pagando los costes sociales totales de producción, porque por ejemplo, se está estableciendo un control de la contaminación por debajo de lo socialmente deseable. El resultado es una ineficiente asignación de recursos. Si estos costes externos o los beneficios se contabilizasen, se obtendría una más eficiente asignación de recursos y una mejora en el bienestar económico.

La principal ventaja de considerar los costes externos en el precio de la energía es que con ello se consigue mejorar la libre competencia en el mercado y por

ende un mercado más eficaz, ya que los costes recaen en los agentes económicos que son verdaderamente responsables de ellos y no en la sociedad en su conjunto.

Si los costes externos de la generación de energía son tenidos en cuenta, otras muchas ventajas se derivan de ello como herramientas en numerosas tomas de decisiones, por ejemplo:

- *En la selección de tecnologías y combustibles*, en función de los impactos que producen. Si los impuestos sobre emisiones son demasiado bajos o si las regulaciones sobre control de emisiones permiten que permanezcan daños residuales sin compensar por los agentes contaminantes, puede ocurrir que la decisión en la selección de recursos esté distorsionada. Así por ejemplo ante la alternativa de carbón o biomasa como combustible para producir electricidad, si se tienen en cuenta exclusivamente los costes privados (aproximadamente 6 ptas. y 7,5 ptas por kWh para el carbón y la biomasa respectivamente), la decisión sería favorable para el carbón. Sin embargo si se incorporan los costes externos (aunque solamente sean aquellos que con el actual estado de conocimiento pueden valorarse económicamente) a los privados, se obtendrían unos costes totales para el carbón de aproximadamente 9 ptas./kWh y para la biomasa 8,25 ptas./kWh, lo cual cambiaría la decisión inicial.
- *Introducción de nuevas tecnologías energéticas* cuyos costes privados sean más altos que las convencionales pero con beneficios medioambientales y/o socioeconómicos más elevados que compensarían el coste total. La inclusión de los costes externos en el precio de la energía permite una comparación entre las diferentes fuentes de energía más coherente y constituye un hecho muy importante para las energías denominadas limpias, desde el punto de vista medioambiental, como son las energías renovables puesto que presentan valores de costes externos muy inferiores a las energías convencionales con las cuales están compitiendo en el mercado. Es obvio que no considerar los costes externos producidos en la generación de la energía, beneficia a las energías que más contaminan y perjudican a las mas limpias como son las renovables. Seleccionar las opciones energéticas con los costes privados más bajos ayuda por supuesto a mantener bajo el precio de la energía pero es posible que los daños medioambientales superen el ahorro producido por el precio más bajo de la energía y por tanto con un resultado final peor para el consumidor. El planificador que al final lo que quiere es incrementar el bienestar del consumidor debería tener en cuenta en sus decisiones tanto los costes privados como los costes externos.
- *Selección de los emplazamientos desde una perspectiva global* (mínimos costes privados y costes externos), dado que las características sobre todo de población del emplazamiento son muy importantes ya que los efectos

sobre la salud suponen el 90% de los costes externos en las energías convencionales.

- *Establecimiento de prioridades en los planes sobre energía, medio ambiente e investigación.*
- *Optimización de las regulaciones sobre contaminación* determinando el óptimo nivel de tasas y subsidios.
- *Desarrollo de estrategias para un desarrollo sostenible.* Pueden servir como indicadores para establecer prioridades tanto en las diferentes administraciones local, regional o nacional, como en el sector privado puesto que los medios son siempre limitados.
- *Contabilidad verde*, por la que se contabilizan los daños medioambientales para corregir el PIB de los países.

Las externalidades desaparecen cuando se compensan, o se internalizan, es decir, cuando los costes o beneficios externos se incorporan en el precio del producto. Esto puede hacerse de distintas formas, pero en casi todos los casos es necesario en primer lugar cuantificarlos en los mismos términos que el precio, esto es, en unidades monetarias. La internalización contribuye a una mejora de la distribución de los recursos y por lo tanto a una economía más eficaz y un incremento del bienestar social. En el apartado 9 se exponen algunos mecanismos de internalización.

3. EXTERNALIDADES MEDIOAMBIENTALES

3.1. Salud

Los impactos sobre la salud se consideran los más importantes de todos los impactos de un ciclo de combustible y también los más difíciles de medir. Estos impactos se pueden dividir en mortalidad, morbilidad y accidentes. La valoración de la *mortalidad* fundamentalmente se basa en el *willingness to pay* (WTP) que trata de estimar cuanto estaría un individuo dispuesto a pagar para cambiar un riesgo de muerte. El WTP se convierte en el valor de una vida estadística, *value of statistical life* (VSL), cuando éste se divide por la variación en el nivel de riesgo. El WTP por una reducción en el riesgo o el WTA (*willingness to accept*) que es lo que uno estaría dispuesto a aceptar como compensación cuando el incremento del riesgo es ya un hecho, se pueden estimar por tres métodos diferentes. Primero atendiendo a los suplementos en el salario de los trabajadores que están expuestos a un riesgo de muerte mayor que el resto. Esto sería un caso de WTA. Segundo, utilizando un método de valoración contingente (CVM) donde se conocen los WTP y WTA a través de encuestas a la población afectada. Y tercero, observando el gasto que un individuo hace para proporcionarse medidas de seguridad que reduzcan el

riesgo de muerte en determinadas actividades como, p.e., la incorporación de un airbag en el automóvil.

En el caso de impactos sobre la *morbilidad*, el WTP por evitar una enfermedad se compone del valor del tiempo perdido, el valor de la pérdida de bienestar por el sufrimiento y de los costes para evitarla y del tratamiento una vez se ha declarado ésta.

Para calcular estos valores se estiman los costes de la enfermedad y se utilizan CVM y modelos de comportamiento de prevención.

En cuanto a los *accidentes*, pueden ser los que afectan a los trabajadores de la industria de la energía y también al público en general, entendiéndose por accidentes los fallos en los procesos de operación. En el caso de los trabajadores, en caso de muerte se utiliza el VSL y en el caso de heridas se utiliza el coste del tratamiento médico seguido más la compensación por el accidente. Para los individuos que no trabajan en el sector se evalúa del mismo modo suponiendo también una compensación por parte del sistema legal.

Los impactos sobre la salud de la generación de energía con los combustibles convencionales suponen el 95% del total de los costes externos calculados.

3.2. Ecosistemas

El mayor riesgo a que están sometidos los ecosistemas es el depósito de contaminantes atmosféricos emitidos en los ciclos de combustibles fósiles. La magnitud del daño depende de cada tipo de ecosistema y de otras situaciones de estrés a que esté sometido sean de origen natural o humano (sequías, plagas, gestión, etc.). En la actualidad no es posible cuantificar los daños en términos económicos a la escala deseada pero si se pueden identificar las especies y hábitats más sensibles a estos contaminantes para los cuales se han definido unas cargas y niveles críticos*. Esta información se ha utilizado en algún estudio como base en trabajos de valoración contingente.

3.3. Materiales

La erosión de materiales y edificios está asociada sobre todo al depósito ácido debido a la combustión de combustibles fósiles. Los contaminantes que se considera principales causantes de dichos impactos son el SO₂, partículas y cloruros. Los tipos de daños son la corrosión de los metales, deterioro de las piedras, decoloración del papel, degradación de los tejidos y envejecimiento de las gomas y plásticos. Cuando los daños son en materiales y edificios de

* Valor de exposición a uno o varios contaminantes, por debajo del cual no aparecen efectos significativos perjudiciales para los elementos sensibles del medio ambiente según el estado actual de conocimiento.

interés histórico, la forma más completa de evaluarlos es una combinación de datos dosis - respuesta con WTP recogidos en encuestas. En los demás casos, se utilizan funciones dosis - respuesta y costes de mantenimiento.

3.4. Clima

Según los climatólogos, un incremento en las concentraciones de gases invernadero tiene como consecuencia un futuro calentamiento global así como distintos cambios en el clima a escala mundial. Es difícil calcular la magnitud de estos cambios y sus consecuencias aunque si se puede predecir cuales serán sus efectos. Entre ellos, un aumento en el nivel del mar que ya se viene observando en las últimas décadas y que como consecuencia más inmediata trae consigo una alteración en el balance entre la cantidad hielo que permanece en su estado sólido y la que se derrite. Otros posibles efectos son un aumento en la evaporación y precipitación y un movimiento de las zonas climáticas hacia los polos que tendrían consecuencias sobre todo en la agricultura, anomalías climáticas como tormentas tropicales, ciclones y huracanes que se saldrían de sus zonas habituales de ocurrencia, sequías e inundaciones, y temperaturas elevadas. Muchos ecosistemas no se adaptarían posiblemente con la misma velocidad que se produjesen los cambios lo cual supondría una pérdida de especies raras de plantas y animales, es decir, la biodiversidad se vería también afectada.

Su valoración económica suscita fuertes controversias aunque algunas metodologías como la Externe ha estimado los costes externos originados por cada tonelada de CO₂ emitido a la atmósfera. El intervalo recomendado varia en casi dos ordenes de magnitud por lo que en muchas ocasiones al expresar los costes externos se especifica si están o no incluidos los costes externos debido al CO₂.

4. EXTERNALIDADES SOCIOECONÓMICAS

Además de las externalidades medioambientales habría que considerar las que anteriormente se denominaban externalidades positivas o beneficios externos. También éstas deberían ser tenidas en cuenta en el coste total de la energía sin embargo la dificultad de su evaluación monetaria impide que la mayoría de ellas puedan ser evaluadas económicamente.

Las características de las externalidades/beneficios producidos por las energías renovables, se derivan de, entre las cualidades más importantes que poseen:

- Son energías limpias y como consecuencia las externalidades medioambientales son bajas y muy inferiores a las de las energías convencionales.
- Son renovables y por lo tanto no son afectadas por los costes a largo plazo de la reducción/agotamiento de los recursos.

- Son autóctonas y como consecuencia sirven de motor económico para el país que las utilice.

Los impactos socioeconómicos más estudiados han sido los relacionados con el empleo, incremento en el PIB e incremento en la recaudación impositiva. Existen además otros beneficios más difíciles de valorar como es la creación de un tejido industrial relacionado con su desarrollo así como los beneficios sociales de la relocalización de la población y disminución de la emigración en la población rural.

4.1. Impactos macroeconómicos

El establecimiento de nuevas plantas para la obtención de energía produce unos efectos en la economía de un país que muchas veces no son tenidos en cuenta en un análisis de costes tradicional. Las inversiones realizadas en un determinado proyecto crean un flujo de consumo, demanda de bienes y servicio, mucho mayor que lo que corresponde directamente a la cantidad invertida. Es el denominado efecto multiplicador producido por el aumento de la demanda en todos los sectores de la economía al haberse producido un incremento en uno de esos sectores.

No siempre estos efectos económicos significan un incremento del bienestar ya que si la sociedad esta completamente empleada, el incremento de la demanda en estos nuevos sectores será en detrimento de otros sectores y solo constituirá un mero desplazamiento de las asignaciones. En el caso español desdichadamente no tiene pleno empleo y puede considerarse como un beneficio económico externo. Sin embargo no han de considerarse como beneficio neto sino bruto puesto que hay que tener en cuenta que los recursos económicos son escasos y que la inversión realizada en un determinado proyecto impedirá la inversión en otro proyecto alternativo. Por tanto las determinaciones realizadas normalmente expresan los cambios producidos en el PIB, o en los impuestos recaudados por el Gobierno. Ambos efectos junto al empleo generado indirecto suelen ser calculados utilizando las tablas *input-output* de la economía de cada país.

Los estudios realizados por Hohmeyer en Alemania sobre los efectos macroeconómicos netos de algunas renovables, al compararlas con energías convencionales, mostraron valores aproximados de 0,4 a 0,75 pta./kWh para la energía eólica y de 2,32 a 6,8 pta/kWh para la fotovoltaica. Estos valores incluyen empleo, e incremento del valor añadido.

Estudios más recientes realizados para producción de electricidad con biomasa, estiman un incremento bruto del PIB de 3,3 ptas./kWh y un incremento en la *recaudación impositiva* de 0,9 ptas/kWh.

4.2. Empleo

El argumento más utilizado cuando se habla del beneficio social producido por la utilización de las energías renovables, se centra en los beneficios medioambientales de estas fuentes energéticas. Sin embargo, las energías renovables pueden también provocar un claro beneficio social en la forma de generación neta de empleo, es decir, teniendo en cuenta no solo el empleo directo generado sino también aquel que potencialmente podrían desplazar.

El empleo originado por la utilización de las fuentes de energía renovables tendrá un impacto mayor si se localiza en áreas geográficas donde se produce una escasez de oportunidades laborales. En particular, debido a las características propias de la generación energética con fuentes renovables, el empleo generado por ellas suele encontrarse localizado en zonas rurales con elevado nivel de desempleo.

El potencial neto de generación de empleo por parte de las energías renovables depende básicamente del tiempo y escala de introducción de estas fuentes energéticas y los efectos derivados de la operación de las fuentes de energía convencionales y renovables. Es decir, parece lógico esperar que a corto plazo no se produzca ningún efecto de desplazamiento de la fuerza de trabajo desde las fuentes de energía convencionales hacia las renovables, debido fundamentalmente al lento ritmo de introducción en el mercado energético de las fuentes renovables. Un mayor grado de penetración en el mercado a más largo plazo, podría presentar el efecto de desplazamiento de la fuerza de trabajo y, en ese caso, el efecto neto en el empleo debería analizarse cuidadosamente.

El nivel de generación neta de empleo originado por parte de las fuentes de energía renovables debe tener en cuenta no solo el empleo directo creado en las actividades de fabricación, construcción y operación de las instalaciones renovables, sino también el empleo indirecto originado por las mismas. Este empleo indirecto se genera debido al gasto ocasionado por las propias personas empleadas directamente en instalaciones de energía renovables, así como debido a los gastos ocasionados durante las etapas de fabricación, construcción y operación en otras actividades y sectores económicos. Este efecto indirecto se calcula habitualmente a través de las tablas input-output de la región considerada y el cálculo de los efectos multiplicadores de las actividades económicas en esa región.

Un estudio desarrollado por la Asociación de la Industria Europea de Biomasa ha estimado que el nivel de empleo en actividades de producción de biomasa es 5 veces mayor que el ocupado en la producción de combustibles fósiles. En labores de generación eléctrica el nivel de empleo en biomasa es 4 veces mayor que en la producción de electricidad con energías fósiles.

Un proyecto recientemente desarrollado dentro del programa europeo JOULE sobre la evaluación de externalidades medioambientales y socioeconómicas

de una central de biomasa de 20 MW en España, ha estimado que el empleo directo que se generaría en las labores de producción de combustible, transporte, construcción y operación de la planta sería de 81 empleos. El empleo indirecto originado por esta planta sería de 67 puestos de trabajo (considerando una tasa de descuento del 3%), lo cual equivaldría a un total de 148 empleos (7,4 empleos por cada MW).

Según la Agencia Europea de Energía Eólica (EWEA), la instalación de 1 MW eólico supone la creación de 6 puestos de trabajo directos en la industria de fabricación e instalación de aerogeneradores. Siguiendo esta estimación, durante el año 1998 la instalación aproximada de 500 MW supondría que en España en ese año estuvieran empleados aproximadamente 3.000 personas. La EWEA establece también que se generan 275 puestos de trabajo en labores de operación y mantenimiento de las instalaciones eólicas por cada 1.000 GWh producidos. Siguiendo este dato, ello supondría que en el conjunto de los países europeos estarían empleadas más de 20.000 personas en la industria eólica.

4.3. Reducción/Agotamiento de los recursos energéticos

El agotamiento de las energías no renovables no está suficientemente recogido en los precios de la energía y el precio actual de la energía no asegura que las futuras generaciones vayan a tener acceso a la energía a un precio justo. El precio y las tasas de descuento aplicadas permiten en la actualidad un despilfarro de energía a costa de las generaciones futuras. Sin embargo en el momento que las energías renovables se incorporaran a los modelos económicos actuales, la distribución de la energía a lo largo del tiempo se hace mas justa. Hohmeyer sobre la base de los años de disponibilidad de los combustibles convencionales, a los costes de las reinversiones en tecnologías renovables para garantizar el suministro y al crecimiento de la población en el futuro, obtiene unos valores próximos a 2,6 ptas/kWh en 1985 y 10,2 ptas/kWh para el 2050 como dotaciones económicas a fondos destinados a la inversión en las energías renovables debido al agotamiento de recursos energéticos convencionales.

5. METODOLOGÍAS PARA LA CUANTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS EXTERNALIDADES.

La valoración de externalidades se puede llevar a cabo utilizando distintas aproximaciones. El estudio del Lawrence Berkeley Laboratory (LBL, 1990) identifica dos aproximaciones: *Estimación directa del daño* y *Coste de reducción de la contaminación*. La primera propone valorar los costes externos en función del daño ocasionado por un contaminante determinado. La segunda los calcula a partir del coste de los controles de contaminación necesarios para reducir las emisiones de este contaminante. Un estudio posterior del Electric

Power Research Institute (EPRI, 1991) además de la aproximación *Estimación directa de costes* similar a la estimación directa de daños, identifica otras dos aproximaciones: *Estimación indirecta de costes* y *Valoración contingente*. La estimación indirecta de costes se utiliza cuando es difícil calcular el coste exacto y hay que adoptar un enfoque indirecto, precios hedónicos, concepto que se definirá mas adelante. La valoración contingente se sirve de encuestas para determinar los distintos atributos de un bien.

A continuación se describen brevemente las metodologías más utilizadas para la valoración de las externalidades.

- *Top-down*

Es la metodología utilizada en los primeros trabajos sobre externalidades (Hohmeyer, Ottinger *et al.*). Se trata de un "macroanálisis" a escala regional o nacional que utiliza valoraciones de cantidades totales de contaminantes emitidos o presentes y calcula el daño total por ellos causado. Parte de datos de emisiones totales de contaminantes para llegar a la contribución de cada central al daño total producido por esas emisiones y los costes de estos daños por kWh de electricidad para cada categoría de impacto.

- *Coste de control*

Como se ha adelantado antes, el método de coste de control está basado en la hipótesis de que el valor de los daños al medio ambiente y la salud humana se pueda aproximar al coste de controlar la contaminación causante de dichos daños. También aparece en distintas publicaciones con otros nombres como Coste de la reducción de la contaminación, Coste de la preferencia revelada o Método de valoración implícita.

- *Análisis de Ciclo de Vida (ACV)*

Se trata de un proceso para determinar los impactos sobre el medio ambiente de un producto, proceso o actividad, desde la extracción de las materias primas necesarias para su elaboración, hasta su gestión final como residuo. Las fases para el ACV son cuatro: clasificación, caracterización, normalización y evaluación de impactos.

- *Función de daño o Ruta de Impacto*

Este método, también conocido como Coste directo o Valoración directa de daño, identifica todos los impactos producidos por la contaminación y los cuantifica en términos físicos como son las disminuciones en las cosechas, los daños en los edificios, etc. Después les asigna valores en unidades monetarias y calcula el daño total. Esta es la aproximación utilizada en el proyecto ExternE por considerarla la mas apropiada para cuantificar las externalidades ya que permite la actualización continua de los datos tanto científicos como económicos.

- *Método cualitativo*

Valora los impactos de manera descriptiva como "sin impacto", "impacto moderado" e "impacto significativo", se trata de un enfoque cualitativo que da señales de valor pero carece de estándares sobre los cuales comparar las posibles opciones.

- *Ponderación y clasificación*

Este método tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo a la vez. Primero reconoce las externalidades y después intenta darles puntuaciones relativas. En función de la valoración de su importancia relativa se ponderan los impactos ordenándose después por categorías y puntuándose cada opción. Estas ponderaciones y puntuaciones están basadas en la disponibilidad de la información y en apreciaciones subjetivas.

- *Porcentajes de bonificación y penalización*

Son porcentajes determinados por ley o a partir de estimaciones hechas con otros métodos y que se suman o restan al coste de la opción analizada.

- *Monetización de emisiones*

Este método es similar al anterior solo que en lugar de expresarse el valor de las externalidades por porcentajes de bonificación/penalización, se expresa en términos de unidades monetarias por tonelada de emisión o por kWh producido.

- *Análisis multiatributo*

Basado en el concepto de estrategia dominante que es la estrategia que se considera por no existir otra mejor. Se comienza identificando las variables determinantes del análisis como son el coste y las emisiones, y se seleccionan aquellas sobre las cuales se va a tomar la decisión. Una vez seleccionadas, se crean escenarios de actuación para valorar las distintas opciones y se analizan hasta que no se puedan alcanzar mejoras significativas por cambios en la elección de recursos.

- *Precio hedónico*

Todo bien o servicio ambiental tiene determinadas variables que afectan a su valor. Se trata de determinar la importancia que una variable otorga al precio de este bien.

- *Coste de desplazamiento*

Valora un bien o servicio ambiental a través de la disponibilidad de pago de la sociedad para disfrutar de ellos. En el caso de un espacio natural, los

costes en que incurrirían los usuarios como desplazamiento, alojamiento, etc. servirían para valorar ese bien.

6. EVIDENCIA EMPÍRICA DE LOS COSTES Y BENEFICIOS EXTERNOS.

Varios son los autores y organizaciones que han dedicado sus esfuerzos al estudio de la evaluación de las externalidades, entre otros ECO Northwest (1987), Hohmeyer (1988), Ottinger *et al* (1990) de la Universidad de Pace, Bernow *et al* (1990) del Instituto Tellus, Pearce *et al* (1992), Lockwood (1992), Friedrich & Voss (1993), Triangle Economic Research (TER, 1995) y RCG-Tellus in New York State (1995).

6.1. Social Costs of Energy Consumption. Hohmeyer, 1988

Con datos de Alemania Occidental, Hohmeyer hizo uno de los primeros estudios sobre la evaluación de los costes medioambientales del sector eléctrico utilizando una aproximación *top-down*. Tomando datos de estimaciones de costes totales de daños debidos a la contaminación atmosférica de otros estudios hechos en el país, los desagregó a varias fuentes de emisión incluyendo los sectores de combustibles fósiles y nuclear. En la tabla 1 aparece un resumen de los resultados de este trabajo.

6.2. Environmental Costs of Electricity. Ottinger et al., 1990. Pace University

El estudio de la Universidad de Pace tenía como objetivos principales la revisión bibliográfica de las metodologías aplicadas hasta la fecha en la determinación de los costes de las externalidades medioambientales y la presentación de los resultados de estos estudios. Se utilizó la aproximación *bottom-up* y los datos resultantes fueron la salida de un modelo que incluía datos sobre emisión de contaminantes, dispersión, funciones dosis-respuesta, y evaluación económica de impactos. No hubo una fase de recogida de datos primarios sino que se tomaron los datos necesarios de la bibliografía existente. Los resultados cubrían distintos ciclos de combustibles como el carbón, fuel-oil, gas natural, fisión nuclear y renovables (hidroeléctrica, solar, eólica y biomasa). Un resumen de los resultados se presenta en la tabla 1.

6.3. Valuation of Environment Externalities for Energy Planning and Operations. Bernow et al., 1990. Tellus Institute

El estudio se desarrolló en el estado de Wisconsin y se pretendía evaluar los costes de un grupo de contaminantes asociados a unas instalaciones productoras de electricidad. El estudio se basa en la aproximación *regulators revealed preference*, debido a que la aproximación función daño requería de mucha información y en su lugar el coste de encontrar soluciones para mejorar

la calidad medioambiental propuesto por las agencias reguladoras se tomó como un reflejo del WTP de la sociedad para evitar el riesgo de esos daños. Los costes de control marginales se utilizaron como una aproximación a los costes de daños marginales.

6.4. The Social Costs of Fuel Cycles. Pearce et al., 1992

Pearce *et al.* utilizaron una aproximación de *ciclo de combustible* similar a la aproximación de Ottinger *et al.* pero mas completa. Tampoco en este caso se recogieron datos primarios del sitio lo que hace que parezca más susceptible a la aparición de incertidumbres e inexactitudes en el momento de considerar sitios específicos.

6.5. The Social Costs of Electricity Generation. Lockwood, 1992

El estudio consistía en una revisión bibliográfica de las distintas metodologías para el cálculo de los costes externos (principalmente las de Hohmeyer y Ottinger *et al.*), y su aplicación al caso concreto del Reino Unido. Cabe destacar como aportación de este estudio la consideración de las externalidades fiscales además de las medioambientales. Las externalidades fiscales incluyen tasas y subsidios que afectan a los ciclos de combustibles de manera diferente.

6.6. External Costs of Electricity Generation. Friedrich & Voss, 1993

Considerando el estudio llevado a cabo por Hohmeyer "inapropiado y los costes externos calculados demasiado altos" Friedrich & Voss hicieron su propio análisis de costes externos de varios ciclos de combustibles en Alemania incluyendo la posibilidad de cambios en el orden de preferencia de los recursos. Llegaron a la conclusión de que mientras la internalización de las externalidades podía evitar o reducir el mal reparto de los escasos recursos económicos, esto no llevaba necesariamente a cambios en las posiciones de competitividad del carbón, fisión, eólica, solar y demás.

6.7. Assessing Environmental Externality Costs for Electricity Generation. TER, 1995.

El objetivo fundamental del estudio TER (1995) era una valoración de las posibles externalidades asociadas a distintas opciones de planificación de recursos de la NSP (Northern States Power Company). Se definieron las siguientes tareas: selección de la metodología adecuada, definición de las opciones más relevantes en la planificación de los recursos y por último, identificación de los contaminantes con efectos potenciales mas destacados. La metodología seleccionada fue la aproximación *daño-coste* que basada en el *willingness to pay* (WTP) relaciona las emisiones con los costes a través de

una secuencia de pasos intermedios como la distribución de estas emisiones (dispersión), sus efectos sobre los receptores, etc.

En el estudio se plantean cuatro escenarios diferentes. Un primer escenario de comparación que sirve de referencia frente a los demás escenarios e incluye las tecnologías existentes en ese momento en el dominio objeto del análisis mas algunas plantas nuevas de gas. El segundo es un escenario rural donde se ha incorporado una planta de 400 MW de carbón en una zona rural. El tercer escenario es un escenario en un extrarradio urbano donde se añade la misma planta del escenario anterior en los límites urbanos de una ciudad. El último escenario es un escenario urbano donde se colocan dos plantas de carbón en el área de las llamadas ciudades "gemelas" Minneapolis y St.Paul. De los tres escenarios el urbano es el que mayor coste presenta por estar en éste mayor número de personas expuestas a estos contaminantes.

6.8. The New York State Environmental Externalities Cost Study, RCG-Tellus, 1995

También en este estudio se utilizó la aproximación daño-coste y se desarrolló un modelo, el EXMOD (Bernow *et al*, 1995) para el cálculo de los costes externos de distintas opciones de producción de electricidad. Los principales objetivos eran dos, primero el desarrollo de una metodología y el segundo la aplicación en unas circunstancias propias de Nueva York. Aunque el modelo EXMOD fue valorado positivamente, los resultados de la evaluación recibieron varias críticas por haber desestimado varias categorías de costes externos importantes.

Tabla 1. Costes medioambientales de distintos ciclos de combustible*

ESTUDIO	CICLOS DE COMBUSTIBLE						
	CARBÓN	FISIÓN	GAS	FUEL	HIDRO	SOLAR	EÓLICA
Hohmeyer	3.96-9.03	1.76-21.3	3.96-9.03	3.96-9.03	No calculado	-(6.97-17.5)	-(5.74-12.6)
Ottinger <i>et al.</i>	6.74	3.37	1.4	3.14-7.79	No calculado	0-0.46	0-0.11
Pearce	1.98-8.39	0.08-0.50	0.64	9.32	0.07	0.12	0.07
Friedrich & Voss	0.24-1.27	0.02-0.37	No calculado	No calculado	No calculado	0.04-0.73	0.02-0.23
RCG/Tellus	0.28	0.01	0.02	0.15	No calculado	No calculado	0

*Todas las cantidades vienen expresadas en 1994 UScents/kWh

6.9. ExternE: Externalidades de la Energía, CE 1995

ExternE es una metodología desarrollada dentro del proyecto del mismo nombre de la CE DG XII, programa Joule que utiliza la ruta de impacto o función daño como aproximación para la evaluación de los impactos y costes asociados al suministro y uso de la energía. En 1995 se publican una serie de informes con la descripción de la metodología y su aplicación a distintos ciclos de combustibles como el de carbón, lignito, fuel, gas, eólica, hidroeléctrica y fisión nuclear (CE, 1995a-e). Los objetivos del proyecto ExternE en sus orígenes eran desarrollar una metodología unificada para cuantificar los impactos medioambientales y los costes sociales asociados a la producción y consumo de energía, utilizar esta metodología para evaluar los costes externos resultantes de un incremento en el uso de distintos ciclos de combustible en diferentes localizaciones de la UE e identificar los puntos críticos de la metodología.

Una vez alcanzados los primeros objetivos del proyecto ExternE, se inició una segunda parte del proyecto con el objetivo de obtener una serie de datos sobre costes externos para distintos ciclos de combustible, tecnologías y países y constituir un grupo de expertos que pudiese asesorar sobre el uso de estos resultados a los políticos y responsables de la toma de decisiones. Con este fin se organizó el proyecto ExternE-National Implementation dentro del programa Joule III, donde el CIEMAT además de participante actuó como coordinador del mismo. A finales de 1998 se publicó la primera actualización de la metodología (CE, 1998a).

En la **Tabla 2** se presentan los resultados del cálculo las externalidades de distintos ciclos de combustibles en 15 países europeos de la que se derivan las siguientes reflexiones:

La aparente discrepancia de los datos entre países para un mismo ciclo de combustible, no es tal ya que la metodología ExternE es específica del emplazamiento de la central eléctrica (varían los receptores y las condiciones climatológicas y topográficas en función del sitio), y de la tecnología de la central (sistemas de limpieza de gases, eficiencia del proceso etc).

Los valores relativamente bajos de los costes externos de la energía de fisión, han sido motivo de frecuentes controversias. La valoración de los costes externos de los accidentes de reactores nucleares ha dado resultados muy diferentes en los estudios realizados desde 1989 hasta la actualidad. En la mayoría de estos estudios son los efectos sobre la salud los que dominan sobre el resto. Las diferencias se deben principalmente a dos factores. Primero, cómo reunir los valores esperados de un accidente hipotético, y si los riesgos de baja probabilidad pero graves consecuencias deben ser valorados de otra forma distinta a la del valor esperado, y segundo, la integración de la aversión al riesgo en el cálculo de los valores.

Los últimos estudios toman como valores esperados los valores de daños del accidente de Chernobyl y los conectan con la probabilidad de que ocurra un suceso no controlado en alguno de los reactores nucleares de la Europa occidental o EEUU (Hohmeyer, Ottinger). Otros autores han utilizado los resultados de estudios de probabilidad de riesgo para los escenarios de liberación y para las probabilidades (Tabla 3).

Otra conclusión de la mayor parte de los estudios antes citados es que los riesgos expresados por su valor esperado son bastante menores comparados con otras categorías de costes externos. Existe una discrepancia entre estos costes de daño y la preocupación de gran parte de la población por los accidentes nucleares.

Tabla 2. Costes externos para distintos ciclos de combustibles en varios países europeos en mECU/kWh

PAÍS	Carbón y lignito	Turba	Fuel y petróleo	Gas	Fisión	Biomasa	Hidro	Fotovolt	Eólica	Resid ECU/t
AUT				11-26		24-25	0.04 ⁽²⁾			
BE	37-150			11-22	4-4.7					
DE	35-55		51-78	12-23	4.4-7	28-29		1.4-3-3	0.5-0.6	
DK	35-65			15-30		12.14			0.9-1.6	
ES	48-77			11-22		29-52 ⁽¹⁾			1.8-1.9	15-24
FI	20-44	23-51				8-11				
FR	69-99		84-109	24-35	2.5	6-7	6			67-92
GR	46-84		26-48	7-13		1-8	5.1		2.4-2.6	
IE	59-84	33-38								
IT			34-56	15-27			3.4			46-77
NL	28-42			5-19	7.4	4-5				
NO				8-19		2.4	2.3		0.5-2.5	
PT	42-67			8-21		14-18	0.3			
SE	18-42					2.7-3	0.04-7			

PAÍS	Carbón y lignito	Turba	Fuel y petróleo	Gas	Fisión	Biomasa	Hidro	Fotovolta	Eólica	Resid ECU/t
UK	42-67		29-47	11-22		5.3-5.7			1.3-1.5	

(1) Biomasa con lignitos (40/60%)

(2) Beneficios no incluidos

Tabla 3. Revisión de resultados: costes de daños de los impactos de un accidente nuclear en mECU/kWh

Estudio	Costes de daños para accidentes nucleares
Hohmeyer (1989)	6.0-60
Hohmeyer (suplemento, 1990)	17.4-105
Friedrich <i>et al.</i> (1990)	0.04-0.35
Ottinger <i>et al.</i> (1990)	18.4
Pearce <i>et al.</i> (1992)	0.00085-0.0021 sin aversión al riesgo 0.25-0.625 con aversión al riesgo, 1ªaprox. 0.38 con aversión al riesgo, 2ªaprox
Infras/Prognos (1994)	0.006-1.02 sin aversión al riesgo 11.4-189.6 con aversión al riesgo
ORNL/RFF (1995)	0.083 Este de Tennessee 0.0477 Nuevo Méjico
ExternE (1995)	0.0014-0.0235
Krewitt (1996)	0.0085(tasa de descuento =0%) 0.002(tasa de descuento = 3%)
Ewers/Rennings (1992)	21.5
Hirschberg/Cazzoli (1994)	0.0008-0.031
Wheeler/Hewison (1994)	0.0014-0.0016

7. AGREGACIÓN DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES CICLOS DE ENERGÍA EN ESPAÑA

7.1. Metodología ExternE

En el mencionado proyecto ExternE todos los países participantes llevaron a cabo una evaluación agregada de sus respectivos sistemas eléctricos.

El estudio de agregación de los valores de las externalidades en el sistema eléctrico español incluye todas las centrales que producen electricidad. Se determinaron las externalidades de 10 centrales cuya selección estuvo basada exclusivamente a una distribución geográfica dentro de la península de tal

manera que los resultados obtenidos en cada una de ellas (el valor de los daños por cada tonelada de contaminante emitido) fueron extrapolados a todas las centrales situadas en la misma región

A pesar de las incertidumbres que acompañan a los resultados presentados, es el primer estudio que se ha realizado para la evaluación económica de las externalidades de la generación de electricidad en España con el objetivo de posibilitar la integración de aspectos medioambientales en la política energética.

En la figura 1 se muestran los datos resultado de este estudio para el caso español (CE, 1998b) en mECU/kWh. Queda de todas formas constancia de la variabilidad de estos resultados en función de las continuas innovaciones y mejoras en las distintas tecnológicas.

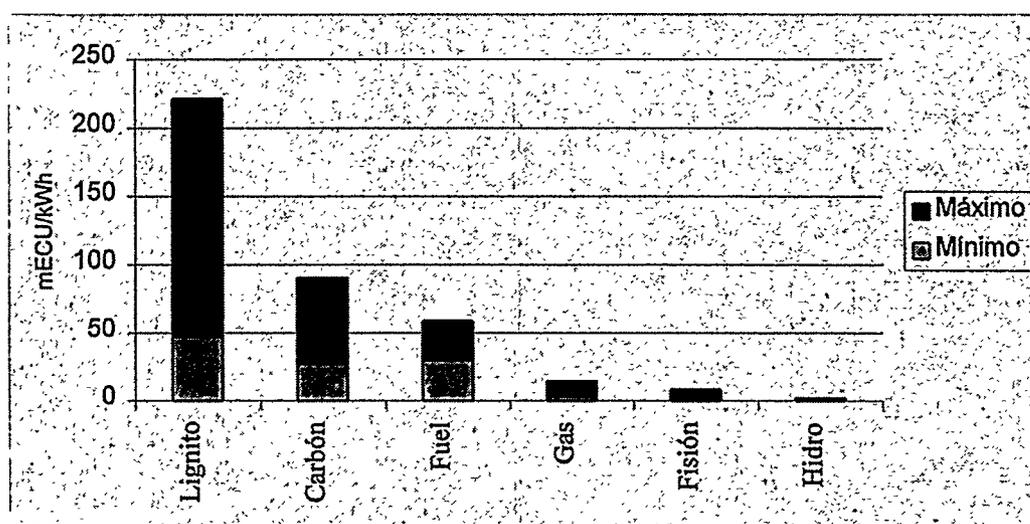


Figura 1. Comparación de costes externos de diferentes ciclos de combustibles en mECU/kWh para el caso español

En el caso de España se contemplaron 19 plantas de carbón y lignitos, 8 de fuel, 4 de gas natural y 7 de fisión nuclear.

Se ha de tener en cuenta que los datos sobre los ciclos estudiados en España que aparecen en la **Tabla 2**, son el resultado de estudios específicos sobre determinadas plantas, hipotéticas la mayor parte de ellas. Sin embargo las que aparecen en la **figura 1** son resultado de un ejercicio de agregación en el que se ha aplicado la metodología Externe a 10 diferentes plantas distribuidas por diferentes regiones de España y extrapolados los resultados al resto de las plantas del sistema eléctrico.

Para la hidroeléctrica se hicieron extrapolaciones de valores europeos y las tecnologías de generación por biomasa y eólica no se consideraron por su pequeña contribución al sistema español.

Para que queden reflejados los resultados de aplicar la metodología ExternE a las energías renovables, en la **figura 2** se exponen los resultados en mECU/kWh que dentro del proyecto ExternE National Implementation se obtuvieron para Dinamarca, con excepción de la biomasa que por no disponer de datos se han tomado del caso finlandés (Schleisner *et al.*, 1998).

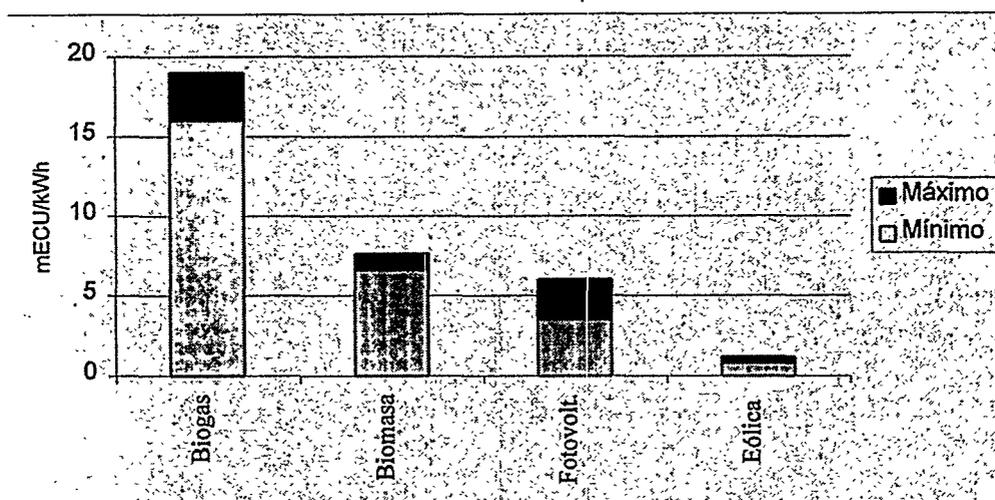


Figura 2 Comparación de costes externos de diferentes ciclos de combustibles en mECU/kWh para el caso danés

7.2. Análisis de Ciclo de Vida de la Generación de un kWh Eléctrico. APPA, 1999.

Este estudio realizado por la Asociación de pequeños productores y autogeneradores de electricidad con fuentes de energías renovables (APPA), ha tenido como objetivo principal la determinación de los costes externos asociados a la generación de 1 kWh con diferentes sistemas eléctricos que utilizan distintas tecnologías y recursos. Para ello se ha realizado un análisis de ciclo de vida (ACV) de estos sistemas estudiándose todas las etapas de cada ciclo de combustible. Los sistemas analizados son los de combustibles fósiles: lignito, hulla, petróleo y gas natural, renovables: hidroeléctricos, eólico y fotovoltaico, y de fisión nuclear. Se utilizaron inventarios de referencia y la modelización se hizo mediante un programa. La cuantificación de impactos se da en ecopuntos para 8 categorías diferentes: calentamiento global, reducción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, liberación de metales pesados, emisión de compuestos carcinogénicos, niebla de verano y nieblas de invierno. Como resultados destacar que los ciclos de combustibles que provocan mayor daño a los ecosistemas naturales y a la salud son los de carbón, lignito, uranio (fisión) y petróleo. Les siguen el gas natural y el solar fotovoltaico y finalmente con menos ecopuntos, la eólica y la minihidráulica. En la siguiente figura se representan los resultados en ecopuntos obtenidos para los diferentes ciclos de combustible.

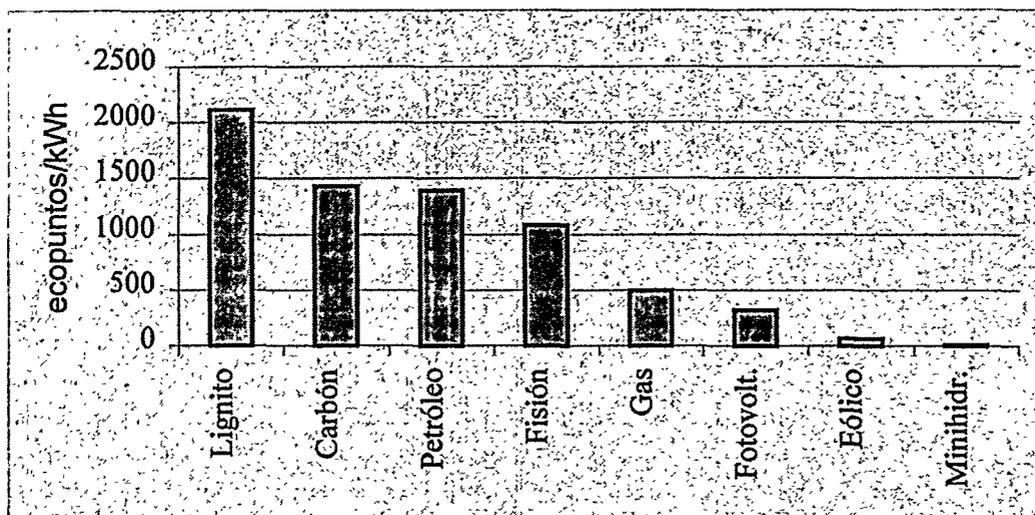


Figura 3. Comparación de costes externos de diferentes ciclos de combustibles en ecopuntos/kWh según el estudio del APPA

Se observa la coincidencia existente entre las dos metodologías con las que se han evaluado los efectos sobre el medio ambiente y la salud, del sistema eléctrico español. La diferencia entre ambas estriba en las unidades en las que tales efectos están expresados. Con el ACV las unidades utilizadas son los ecopuntos que son muy útiles para la comparación entre dos o mas productos o servicios que tienen un mismo uso final. Sin embargo al no ser valorados en unidades monetarias, los resultados no pueden internalizarse con los instrumentos económicos que más adelante se describen. La metodología Externe por el contrario, aunque es un caso especial de ACV, desarrollado en Europa para el estudio de las externalidades de la energía, evalúa los impactos en la misma unidad que el precio de la energía por lo que puede ser directamente utilizado para calcular impuestos a las energías contaminantes, primas al "desimpacto ambiental" a las energías renovables etc, es decir para su internalización.

8. INFLUENCIA DE LOS COSTES/BENEFICIOS EXTERNOS EN LA COMPETITIVIDAD Y MERCADO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las tecnologías de generación energética que utilizan fuentes de energía renovables presentan una serie de beneficios que no se encuentran recogidos dentro de la estructura convencional de precios de la energía. Estos beneficios incluyen la consideración de los efectos sociales y medioambientales, como pueden ser la provisión de servicios energéticos en zonas rurales remotas o el aumento del nivel de empleo en áreas económicamente deprimidas. La mayor parte de las tecnologías de conversión de las energías renovables durante sus actividades de construcción y operación requieren un nivel de empleo mayor que las tecnologías de conversión de los combustibles convencionales. Algunos estudios han estimado que las energías renovables crean cinco veces

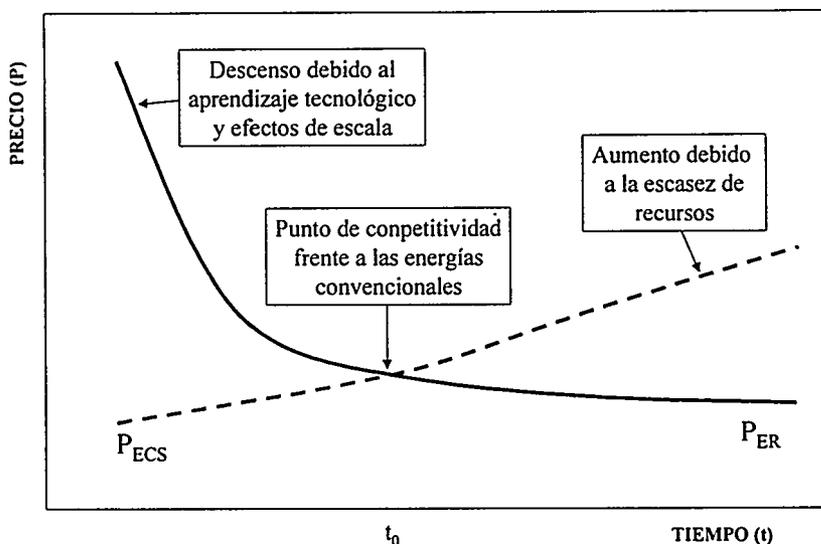
más empleo que las energías convencionales. Este empleo está radicado además en zonas rurales donde la tasa de desempleo es mayor. Por otra parte, aunque las energías renovables tienen generalmente menos efectos adversos que las energías convencionales en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, lluvia ácida o contaminación a escala local, es cierto que tienen algunos efectos locales como pueden ser el ruido o la intrusión visual. La generación energética utilizando fuentes renovables es bastante específica de una localización considerada y normalmente el recurso renovable se encuentra localizado en un área geográfica con cierto valor debido a su belleza o alejamiento de localidades. Por ello, parece importante la consideración de ciertos impactos locales que las energías renovables pudieran presentar.

Existen impedimentos para el desarrollo de las tecnologías de conversión de fuentes renovables dentro del mercado energético. Estos impedimentos se encuentran relacionados con el funcionamiento técnico y del mercado de las energías renovables. Aunque no todas las tecnologías de conversión de las fuentes de energía renovables se encuentran cerca de su competitividad comercial, existen dos factores que afectan al funcionamiento correcto de este tipo de energías:

- En primer lugar, una serie de factores tecnológicos determinan que las energías renovables posean un perfil de inversiones que requieren una mayor intensidad en capital que las fuentes convencionales, lo cual en ciertos casos puede detener a los inversores.
- En segundo lugar, el fallo que se produce en el mercado energético respecto a la internalización de los costes sociales y medioambientales en los cuales incurren las fuentes de energía convencionales que compiten con las energías renovables.

Cada una de las tecnologías de conversión de las energías renovables tiene una serie de cargas y beneficios medioambientales, que pueden representar una adición o una reducción de costes. Sin embargo, estos costes no se han comparado con aquellos producidos por las tecnologías de conversión convencionales de una forma consistente. Ello sitúa claramente en una posición desfavorable a las energías renovables frente a las convencionales.

A pesar de ello, los costes de generación de las energías convencionales aumentan de forma progresiva frente al descenso que se está produciendo en los costes de generación de las energías renovables, debido fundamentalmente a su proceso de desarrollo tecnológico. Sin tener por tanto en cuenta la inclusión de los costes/beneficios externos relacionados con las fuentes renovables, el proceso de sustitución de las energías convencionales por las renovables se produciría en un determinado periodo de tiempo t_0 , tal como aparece reflejado en la **figura 4**.

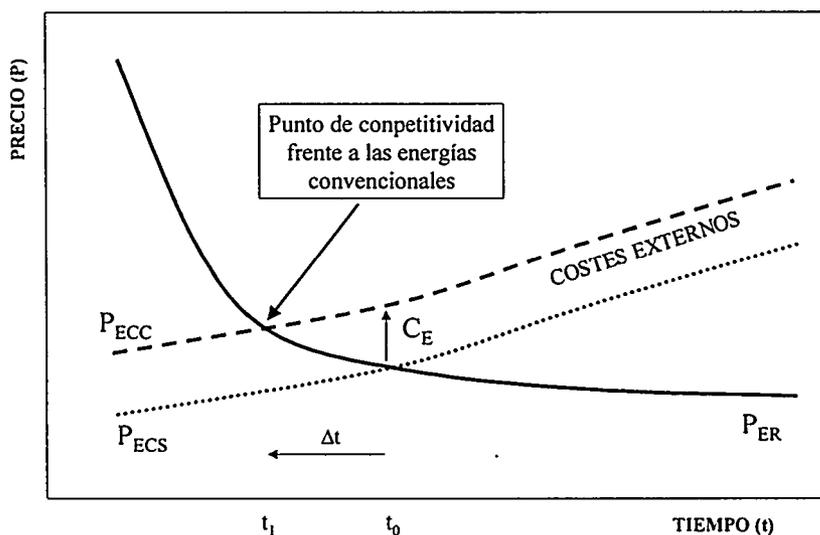


P_{ER} : precio de generación de las energías renovables

P_{ECS} : precio de generación de las energías convencionales sin considerar sus costes externos

Figura 4. Evolución temporal de los costes de generación de las tecnologías energéticas sin tener en cuenta los costes/beneficios externos.

La falta de consideración de los costes/beneficios externos dentro del mercado energético supone que el proceso de difusión de las energías renovables sufra un retraso, tal como reflejan las siguientes *figuras 5 y 6*.



P_{ER} : precio de generación de las energías renovables

P_{ECS} : precio de generación de las energías convencionales sin considerar sus costes externos

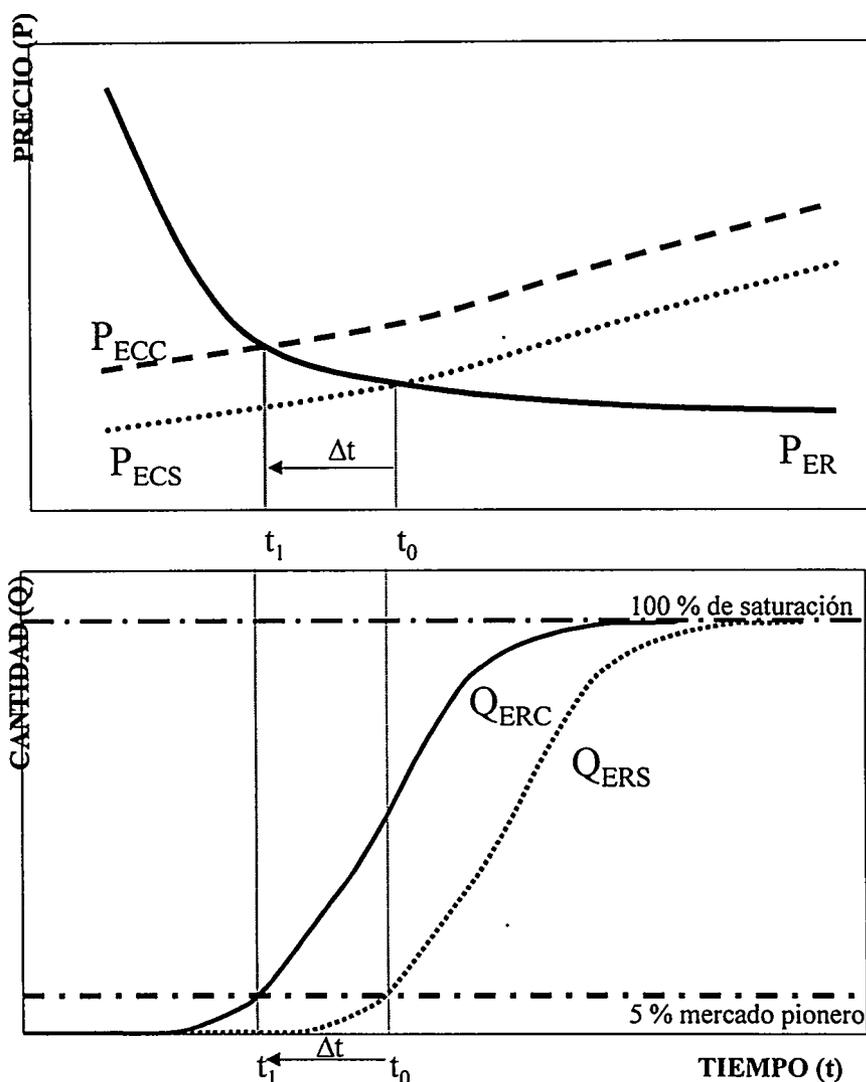
P_{ECC} : precio de generación de las energías convencionales considerando sus costes externos

C_E : costes externos de las energías convencionales

Figura 5. Evolución temporal de los costes de generación de las tecnologías energéticas considerando los costes/beneficios externos.

Debido a que el ajuste de precios de generación de las distintas fuentes energéticas por parte del mercado no se realiza de una forma adecuada para el caso de tecnologías de generación competitivas, las administraciones públicas deberían ser el organismo encargado de corregir este deficiente funcionamiento del mercado energético. Desde el punto de vista teórico, esta internalización de costes y beneficios externos debería ser llevada a cabo en primer lugar a través de la imposición fiscal sobre las actividades energéticas que generan costes a la sociedad. Sin embargo, en la práctica está en discusión la efectividad de estas medidas desde el punto de vista de los costes en los que sería necesario incurrir en tareas de control y también bajo el prisma de la competitividad de las empresas en un mercado energético cada vez más internacionalizado. Por otra parte, desde el punto de vista político es difícil superar la resistencia de los grupos interesados a la inclusión de un nuevo impuesto sobre sus actividades. Una de las formas de evitar estas controversias es la instauración de subsidios o precios especiales para las energías renovables, aunque ello debería realizarse en la medida que estos beneficios comparativos o costes evitados fuesen evaluados de forma consistente.

Una conclusión derivada de la **figura 6** es la necesidad de llevar a cabo una valoración económica de todos los costes/beneficios derivados de la utilización de fuentes energéticas convencionales y renovables. Volviendo a la anterior **figura 6**, la consideración de todos los costes externos de las energías convencionales aumentaría la distancia existente entre las curvas P_{ECS} y P_{ECC} , lo cual provocaría que el punto de corte entre las curvas P_{ECC} y P_{ER} se produjera de forma anticipada en el tiempo, en un punto más próximo al origen que el punto t_1 . Ello supondría anticipar la introducción de las energías renovables en el mercado energético.



P_{ER} : precio de generación de las energías renovables

P_{ECS} : precio de generación de las energías convencionales sin considerar sus costes externos

P_{ECC} : precio de generación de las energías convencionales considerando sus costes externos

Q_{ERS} : curva de difusión en el mercado de las energías renovables sin considerar los costes/beneficios externos

Q_{ERC} : curva de difusión en el mercado de las energías renovables considerando los costes/beneficios externos

Figura 6. Difusión en el mercado de las energías renovables debido a la consideración de los costes/beneficios externos.

9. MECANISMOS DE INTERNALIZACIÓN DE LOS COSTES/BENEFICIOS EXTERNOS

Las energías renovables presentan una serie de ventajas (beneficios) frente a las energías convencionales. Estas ventajas tienen una triple vertiente: medioambiental, social y económica:

- Contribuyen a la diversificación y a la estabilidad de la oferta energética.

- Reducen emisiones de CO₂ relacionadas con la generación energética contribuyendo al mismo tiempo a una reducción de los riesgos de cambio climático.
- Producen beneficios sociales y económicos a través de la reducción de otros impactos medioambientales (emisiones de SO₂) a escala local y regional.
- Aumentan el nivel de empleo en zonas rurales en labores de fabricación, instalación y operación, así como estimulan el desarrollo de las pequeñas y medianas empresas.
- Mejoran la cohesión económica y social, especialmente en comunidades rurales alejadas, proporcionándoles servicios energéticos y maximizando la utilización de recursos energéticos endógenos.

Una completa internalización de los costes/beneficios externos generados por las distintas fuentes energéticas no parece todavía posible, debido principalmente a la incertidumbre asociada a la valoración monetaria de estos costes/beneficios, aunque se está produciendo un consenso generalizado acerca de la consideración de estos costes/beneficios dentro de la estructura energética de cada país.

El proceso de internalización de los costes/beneficios externos debe llevarse a cabo teniendo en cuenta, al menos, las siguientes etapas:

- La identificación de todos los efectos externos positivos y negativos originados a lo largo del ciclo de producción de energía por cada uno de los combustibles.
- La definición precisa de cada uno de los efectos producidos y su ruta de impacto.
- La cuantificación y valoración económica de cada uno de los efectos socioeconómicos y medioambientales generados en cada etapa del ciclo.
- La selección del mecanismo de internalización más apropiado en cada caso aplicable al coste/beneficio externo analizado.
- La implantación del mecanismo de internalización seleccionado.

Una consideración importante acerca de la internalización de estos costes/beneficios externos relacionados con la generación, supone la consideración de las ventajas o inconvenientes que conllevaría la aplicación de caminos alternativos hacia esta internalización. En el caso de que el objetivo a alcanzar fuese la consideración dentro del mercado energético de los costes totales, inicialmente este objetivo podría lograrse a través de dos caminos:

- La utilización de instrumentos penalizadores sobre las fuentes energéticas generadoras de costes externos, o
- La consideración de instrumentos o mecanismos que valorasen los beneficios externos generados por las fuentes energéticas.

Ambos caminos requieren la utilización de instrumentos económicos que pueden estimular cambios en el comportamiento de los productores y consumidores dentro del mercado energético. Sin realizar un repaso exhaustivo sobre ellos, los más importantes serían:

- *Impuestos sobre emisiones y procesos.* Este instrumento económico se puede aplicar una vez evaluado económicamente el efecto externo producido por una unidad de contaminante emitido (en forma sólida, líquida o gaseosa) por cada tecnología de generación energética.
- *Impuestos sobre el tipo de combustible.* En función del efecto externo generado durante todo el ciclo de vida de cada combustible, es posible aplicar un impuesto en función del coste externo generado que grave su utilización.
- *Comercialización de permisos de contaminación.* Los límites de contaminación fijados por las autoridades públicas, marcan la creación de un mercado de permisos de contaminación entre fuentes energéticas alternativas. Así, la fijación de una cantidad límite de emisión de SO₂ o NO_x por unidad energética producida (termia, kWh) asignaría de forma eficiente un cierto valor del coste externo generado por cada fuente energética.
- *Subsidación de fuentes energéticas.* Este apoyo público, que se puede realizar bien a través de subvenciones directas de capital, de explotación o financieras, o bien a través de precios reconocidos por encima de los precios de mercado, debe basarse en ambos casos en la valoración de los beneficios socioeconómicos y ambientales de cada fuente energética.
- *Desgravaciones fiscales.* Como en el caso anterior, las desgravaciones fiscales aplicables a las inversiones o rentas generadas por fuentes de energía renovables deben estar basadas en el análisis particular de los beneficios generados por cada una de ellas.
- *Medidas promocionales.* El establecimiento de campañas de información y educación, planes de promoción o apoyo a potenciales inversores. Ayuda y estimulación en la creación de fondos de inversión en energías renovables. Minimización de los costes de transacción (permisos, acceso a red eléctrica,...) en el caso de inversiones en estas energías.

Sin embargo, la aplicación de estos instrumentos económicos como mecanismos de internalización de los costes/beneficios externos generados por las distintas fuentes energéticas, requiere la existencia de una serie de

condiciones:

- El funcionamiento óptimo de los instrumentos económicos se produce en circunstancias donde los mecanismos del mercado funcionan razonablemente bien o no existen distorsiones de mercado. Por tanto, es preciso conocer si los actores afectados por la aplicación de estos instrumentos operan en un mercado competitivo donde tienen además acceso a la información necesaria para tomar sus decisiones.
- La introducción de un mecanismo de internalización de costes/beneficios externos debe tener en cuenta si éste refuerza o contrarresta el funcionamiento de los ya existentes en el mercado energético.
- La introducción de impuestos debe conllevar la aplicación de una serie de incentivos para lograr el cambio de actitud de los productores/consumidores.
- La introducción de instrumentos económicos para alcanzar la internalización de costes/beneficios externos debe realizarse a través de un proceso gradual o bien informando anticipadamente al mercado, permitiendo así a los productores/consumidores tenerlos en cuenta en sus decisiones futuras de inversión/consumo.

10. REFERENCIAS

APPA/AUMA (1998a). Análisis del Ciclo de Vida de la generación de un kWh de energía eléctrica mediante diversas tecnologías (ACV).

APPA/AUMA (1998b). Análisis del Ciclo de Vida de la generación de un kWh eléctrico: Revisión crítica. Documento III.

Bernow *et al* (1990). *Valuation of Environment Externalities for Energy Planning and Operations*. Tellus Institute, Boston.

Bernow *et al* (1995). *New York State Environmental Externalities Costs Study. Report 3: EXMOD User Manual and EXMOD Reference Manual*. RCG/Hagler Bailly.

CE (1995a) ExternE: Externalities of energy. Vol.2. Methodology. EUR 16521 EN.

CE (1995b) ExternE: Externalities of energy. Vol.3. Coal and lignite. EUR 16522 EN.

CE (1995c) ExternE: Externalities of energy. Vol.4 . Oil and gas. EUR 16523 EN.

CE (1995d) ExternE: Externalities of energy. Vol.5. Nuclear. EUR 16524 EN.

- CE (1995e) ExternE: Externalities of energy. Vol.6. Wind and Hydro. EUR 16525 EN.
- CE (1998a) ExternE: Externalities of energy. Vol.7: Methodology 1998 Update (to be published).
- CE (1998b) ExternE: Externalities of energy. National Implementation (to be published).
- ECO Northwest (1987). Generic Coal Plant Study: Quantification and Valuation of Environmental Impacts, for Bonneville Power Administration, Portland, OR.
- EPRI (1991). Environmental externalities: An overview of Theory and Practice. Report EPRI CU/EN-7294.
- ETH (1996). Ökoinventare von Energiesystemen. Laboratorium für Energiesysteme ETH Zurich. PSI Villigen. Zurich.
- ExternE-Task 1.5 Accidents. Improvement of the Assessment of Severe Accidents. CEPN, May 1997
- Friedrich & Voss (1993). External Costs of Electricity Generation. Energy Policy. Vol.21. No.2
- Hohmeyer (1988). Social Costs of Energy Consumption. Springer Verlag, Berlin.
- Horen van (1996). Counting the Social Costs. Electricity and externalities in South Africa. Industrial Strategy Project. Élan Press and UCT Press
- Ibersaic (1997). Enfoques regulatorios de protección al Medioambiente en marcos regulatorios eléctricos en competencia o en transición a ella. Ref.:SPAA36/0000
- LBL (1990). Comparative analysis of Monetary Estimates of External Environmental Costs Associated with Combustion of Fossil Fuels, Lawrence Berkeley Laboratory, Energy and Environment Division, Report #LBL-28313/UC-310
- Lockwood (1992). The Social Costs of Electricity Generation. Report GEC 92-09. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment. University of East Anglia and University College London
- Markandya (1992). External Costs of Fuel Cycles. An Impact Pathway Approach. Economic Valuation. EC/US Fuel Cycle Study. Metroeconomica Ltd.

NREL, 1994. Issues and Methods in Incorporating Environmental Externalities into the Integrated Resource planning Process. National Renewable Energy Laboratory. Report NREL/TP-461-6684

Ottinger *et al.* (1990). Environmental Costs of Electricity. Oceana Publications, Inc., New York.

Pearce *et al.* (1992). The Social Costs of Fuel Cycles, HMSO.

Rowe *et al.* (1993) New York State Environmental Externalities Costs Study. Report 1: Externalities Screening and Recommendations. RCG/Hagler Bailly.

Rowe *et al.* (1994) New York State Environmental Externalities Costs Study. Report 2: Methodology. RCG/Hagler Bailly.

Sáez *et al.* (1998). Socioeconomic Research On Fusion SERF 1997-1998. Macro Task E2. External costs and benefits. Summary Final Report.

Schleisner *et al.* (1998) Socio Economic Research on Fusion, SERF: 1997-98. Macro Task E2: External Costs and Benefits. Task 2: Comparison of External Costs. Report R2.2. RISØ National Laboratory and VTT.

TER (1995) Assessing Environmental Externality Costs for Electricity Generation. Final Report. November 1994 (revised May 1995).