

Usos del agua en el sector energético:

Escenarios de evolución futura.



Mariano Sanz Badia
José Fco Sanz Osorio

Septiembre 2007

Uso del agua en el sector energético: Escenarios de evolución futura.

Resumen:

En principio, la estrategia de ahorro y eficiencia energética de la Administración tiene como principales objetivos la reducción de la dependencia energética exterior, disminución del crecimiento de la intensidad energética, y la reducción de emisiones contaminantes. En este escenario los usos energéticos del agua tendrán que adoptar cada vez mayor relevancia.

Sin embargo, nos estamos encontrando ante un panorama completamente opuesto, el del creciente uso y aplicación de sistemas de generación eléctrica mediante procesos térmicos, en los que el gas está tomando el protagonismo, y el de la justificación de la utilización e incluso el de la instalación de nuevas centrales nucleares. Las estrategias energéticas en Europa y por consiguiente en España, nos están conduciendo a un escenario energético con unos sistemas de generación en el que las energías renovables van perdiendo su participación drásticamente.

Las instalaciones hidroeléctricas si se conciben para su integración con los aprovechamientos energéticos renovables eólicos y solares, pueden convertirse en la base de unas nuevas infraestructuras que permitan la alimentación a núcleos energéticamente aislados, y que puedan suministrar también energía eléctrica a la red general en condiciones de regulación y calidad adaptadas perfectamente a las condiciones de la demanda, impulsando aún mas el uso del agua con fines energéticos.

En este trabajo, en primer lugar queremos demostrar que los estudios realizados para la Administración hasta el momento, y en los que se quiere demostrar la baja rentabilidad de las centrales hidroeléctricas, están basados en análisis globales, sin particularizar en cuencas concretas, y especialmente en la cuenca del Ebro, donde la rentabilidad de las C.H. es la mas alta, seguida por las cuencas del Norte y de la del Duero, en estas cuencas no puede sustentarse ninguna justificación para su cierre y sustitución por centrales de ciclo combinado.

En segundo lugar desarrollaremos los argumentos mediante los que pretendemos demostrar los posibles y lógicos usos energéticos del agua en el futuro, como apoyo indispensable del parque eléctrico generador, basado en sistemas de generación distribuida activa y renovable.

Presentamos también un análisis comparativo de los balances energéticos de los sistemas convencionales, los relacionados con los cultivos energéticos (biomasa y biocarburantes), los emergentes como el Hidrógeno. Mediante estos análisis comparativos, pretendemos demostrar que desde la lógica de la necesidad del desarrollo sostenible, en el escenario energético futuro los usos energéticos del agua adquieran una importancia muy superior a la que en estos momentos estamos considerando.

Índice

<i>Índice</i>	2
1 Usos energéticos del agua; Situación actual	1
2 Justificación de la realización del trabajo.	2
3 La rentabilidad de las centrales hidroeléctricas.	3
3.1 Resultados y conclusiones del estudio UNESA:	3
3.1.1 Valoración de la energía hidroeléctrica a precio de mercado 2004:	3
3.1.2 Costos de explotación y valoración neta de la producción nacional:	3
3.1.3 Valoración de activos hidroeléctricos.	4
3.1.4 Conclusiones.	4
4 Análisis de los datos utilizados por los informes de la Administración.	5
4.1 Índices fundamentales.	5
4.2 Cálculo global del índice de la productividad de los aprovechamientos.	5
4.3 Índice de productividad por Cuenca	6
4.3.1 Influencia de las centrales de bombeo en el índice de productividad de las centrales de la Cuenca del Ebro.	6
4.4 Índice de eficiencia del aprovechamiento del agua utilizada.	7
4.5 Análisis de la rentabilidad de las C.H. fluyentes:	7
4.5.1 Sobrevaloración de los gastos de explotación de las C.H.	8
4.6 Análisis de la rentabilidad de las Centrales Hidroeléctricas en régimen especial:	9
4.6.1 Valoración de la energía hidroeléctrica en régimen especial a precio de mercado 2004.	9
4.6.2 Valoración de activos hidroeléctricos.	9
4.6.3 Las Centrales Hidroeléctricas de régimen especial en la cuenca del Ebro.	9
4.7 Conclusiones del estudio del análisis de la valoración energética de los usos el agua en explotaciones hidroeléctricas actuales en la Cuenca del Ebro.	10
5 Las nuevas tecnologías aplicables a las explotaciones hidroeléctricas y su incidencia sobre los usos energéticos del agua.	11
5.1 Turbinas a velocidad variable:	11
5.2 Aplicación de los sistemas de velocidad variable en infraestructuras hidroeléctricas reversibles: Sistemas Turbina-Bomba de alta eficiencia.	12
5.3 Aplicación a la integración de las infraestructuras de riego con sistemas de generación eólica y generación solar fotovoltaica en la cuenca del Ebro	13
5.4 Conclusión sobre las nuevas tecnologías de velocidad variable, aplicables a las explotaciones hidroeléctricas y su incidencia sobre los usos energéticos del agua.	14
6 Los usos del agua en cultivos energéticos.	15
6.1 Agroenergética	15
6.2 La controversia de los cultivos energéticos: Los biocarburantes	16
6.3 Resultados del análisis sobre los cultivos de biodiésel en secano.	16
6.3.1 Rendimiento energético de las tierras de cultivo de girasol y colza en secano dedicado a los biocarburantes.	17
6.3.2 La asignación de la glicerina.	17
6.3.3 El consumo de agua en el proceso industrial.	18
6.3.4 Producción por Hectárea del cultivo de girasol y colza en secano.	18
6.3.5 Porcentajes de energía utilizada en las labores de cultivo en secano.	18
6.3.6 Utilización de la producción del biodiésel por hectárea de secano, en el funcionamiento de un vehículo de referencia.	18

6.4 Resultados del análisis sobre los cultivos de biodiésel en regadío.	19
6.4.1 Los cultivos de biodiésel en regadío por gravedad.	19
6.4.2 Obtención de biodiésel en regadío por aspersión	19
6.4.3 Energía primaria necesaria en la producción de biodiésel en cultivos con regadío por aspersión.	20
6.4.4 Rendimiento energético de los cultivos de biodiésel en regadío por aspersión	20
6.4.5 Aplicación de resultados al vehículo de referencia	20
6.5 Los cultivos de etanol de cereales	21
6.5.1 Balance energético en la producción de bioetanol	21
6.5.2 Rendimiento energético de los cultivos de bioetanol con trigo y cebada.	21
6.5.3 Aplicación de resultados al vehículo de referencia:	21
6.6 Resumen de los resultados de los estudios y análisis sobre los cultivos energéticos:	22
6.7 Conclusiones obtenidas sobre el análisis de los balances de los cultivos agroenergéticos en la Cuenca del Ebro.	23
7 Los usos energéticos del agua y la economía del hidrógeno.	24
8 Propuestas, criterios, recomendaciones para su consideración y tratamiento en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro.	25
9 Visión aproximativa sobre los efectos económicos, sociales y ambientales de las propuestas realizadas.	26
10 Referencias	27

1 Usos energéticos del agua; Situación actual

El agua es un elemento esencial en el sector energético. Los aprovechamientos hidroeléctricos suponen en la actualidad un recurso renovable fundamental en las infraestructuras energéticas del sistema eléctrico nacional. La problemática energética del desarrollo sostenible de la humanidad, está haciendo que los vínculos entre el agua y la energía se vayan estableciendo cada vez con mayor consistencia y fuerza.

Desde la perspectiva actual, en la que se pone en evidencia el incremento incesante del uso de la energía eléctrica como energía final, utilizándose ésta cada vez en mayor medida en todas las actividades del desarrollo de la humanidad, y siendo el mayor inconveniente de ésta el de su dificultad de almacenamiento directo, la utilización del agua no solamente como fluido impulsor de los sistemas mas eficientes conocidos de producción de energía eléctrica, ni solamente como fluido refrigerante de los sistemas térmicos de producción eléctrica, (los mas ineficientes de los conocidos), sino también, como elemento clave del sistema de almacenamiento energético mas rentable de los conocidos hasta el momento: la energía potencial.

Las tecnologías actuales dedicadas a los aprovechamientos energéticos del agua, tienen como fin fundamental la generación de energía eléctrica y su evacuación a la red general, no obstante no debemos perder de vista que los recursos hídricos comienzan a ser observados como vector energético esencial en los sistemas de integración energética, asociados a otros medios de producción que no disponen de posibilidades de almacenamiento y regulación, tales como la energía eólica y la solar.

Las instalaciones hidroeléctricas concebidas para su integración con los aprovechamientos energéticos renovables eólicos y solares, pueden convertirse en la base de unas nuevas infraestructuras que permitan la alimentación a núcleos energéticamente aislados, y que puedan suministrar también energía eléctrica a la red general en condiciones de regulación y calidad adaptadas perfectamente a las condiciones de la demanda, impulsando aún mas el uso del agua con fines energéticos.

En principio, la estrategia de ahorro y eficiencia energética de la Administración tiene como principales objetivos la reducción de la dependencia energética exterior, disminución del crecimiento de la intensidad energética, y la reducción de emisiones contaminantes. En este escenario los usos energéticos del agua tendrán que adoptar cada vez mayor relevancia.

Sin embargo, nos estamos encontrando ante un panorama completamente opuesto, el del creciente uso y aplicación de sistemas de generación eléctrica mediante procesos térmicos, en los que el gas está tomando el protagonismo, y el de la justificación de la utilización e incluso el de la instalación de nuevas centrales nucleares.

En esta dinámica, se ha planteado, y se está proponiendo por parte de la Administración, la sustitución del parque hidroeléctrico nacional por centrales de gas de ciclo combinado, centrales de rendimiento mayor que las convencionales térmicas. En las primeras el rendimiento se sitúa entre el 50% y 55%, en tanto que en las segundas el rendimiento oscila desde el 29% al 32%.

Ante esta perspectiva, los usos energéticos del agua se verían en una gran parte reducidos a la refrigeración de la gran cantidad de centrales térmicas que se están instalando.

2 Justificación de la realización del trabajo.

Las estrategias energéticas en Europa y por consiguiente en España, nos están conduciendo a un escenario energético con unos sistemas de generación en el que las energías renovables van perdiendo su participación drásticamente.

No se tienen en cuenta las grandes posibilidades que los usos energéticos del agua pueden aportar en un escenario energético mucho más eficiente, y respetuoso con el medio ambiente del que se está imponiendo.

Existe un importante futuro en las aplicaciones energéticas del agua, y un objetivo fundamental en la realización de este trabajo, es la de poder colaborar en la optimización de los aprovechamientos energéticos del agua en la Cuenca del Ebro.

En este trabajo, en primer lugar queremos demostrar que los estudios realizados para la Administración hasta el momento, y en los que se deduce la baja rentabilidad de las centrales hidroeléctricas, están basados en análisis globales, sin particularizar en cuencas concretas, y especialmente en la cuenca del Ebro, donde la rentabilidad de las C.H. es la mas alta, seguida por la cuenca del Norte y la del Duero, en estas cuencas no puede sustentarse ninguna justificación para su cierre y sustitución por centrales de ciclo combinado.

En segundo lugar desarrollaremos los argumentos mediante los que pretendemos demostrar los posibles y lógicos usos energéticos del agua en el futuro, como apoyo indispensable del parque eléctrico generador, basado en sistemas de generación distribuida activa y renovable.

Presentamos también un análisis comparativo de los balances energéticos de los sistemas energéticos convencionales, los relacionados con los cultivos energéticos (biomasa y biocarburantes), y los emergentes como el hidrógeno. Mediante estos análisis comparativos, pretendemos demostrar que desde la lógica de la necesidad del desarrollo sostenible, en el escenario energético futuro los usos energéticos del agua adquieren una importancia muy superior a la que en estos momentos estamos considerando.

3 La rentabilidad de las centrales hidroeléctricas.

3.1 Resultados y conclusiones del estudio UNESA:

Según fuentes del Ministerio de Medio Ambiente e Industria, Turismo y Comercio, los datos de partida para la valoración de las centrales hidroeléctricas en España son:

Régimen	Potencia instalada MW	Producción GWh/año
Ordinario	16.569	31.243
Especial	1.648	4.500
Total	18.217	35.743

Según las mismas fuentes en la Cuenca del Ebro:

Régimen	Potencia instalada MW	Producción GWh/año
Ordinario	3.331	7.567
Especial	514	1.402
Total	3.845	8.978

3.1.1 Valoración de la energía hidroeléctrica a precio de mercado 2004:

En el *Régimen Ordinario*, considerando una valoración media de 0,0338 y tomando según sus criterios el porcentaje de energía fluyente, la regulada y la incidencia del bombeo, se deduce como resultado que la facturación anual por energía generada alcanza 1.056 Mill.€/año

En el *Régimen especial*, considerando una valoración media de 0,068 €/Kwh., siendo el producible hidroeléctrico 4.500 GWh/año, se obtiene una facturación anual por energía generada en régimen especial de 306 Mill. €/año.

Resultando una valoración total por los 35.743 GWh año de ambos regimenes de 1.362 Mill.€/año.

3.1.2 Costos de explotación y valoración neta de la producción nacional:

En los estudios de valoración se considera un coste medio de 0,0165 €/Kwh., debidos a gastos de explotación producido en las centrales hidroeléctricas, deducidos a partir de datos globales publicados por ENDESA. Este valor se obtiene partiendo de los gastos generales de explotación, y restando los correspondientes a los conceptos de gastos de combustible del conjunto de las centrales (hidroeléctricas, térmicas y nucleares).

En este supuesto, por los 35.743 GWh de producción a lo largo de un año, se produce un coste anual de 589,760 Mill. €, que hay que restar de los 1.362 Mill € anuales de facturación bruta, resultando por lo tanto una producción neta del parque hidroeléctrico nacional de 772 Mill € anuales.

3.1.3 Valoración de activos hidroeléctricos.

La valoración de los activos hidroeléctricos se ha realizado en base a los datos de potencia instalada asignándose unos precios por Kw., a los que se suman la parte proporcional de los costos de reposición de presas y embalses en las centrales de régimen ordinario reguladas, que hacen uso de estas infraestructuras.

Activos hidroeléctricos en Régimen Ordinario:

Por un lado, la parte proporcional del valor de reposición de presas y embalses utilizados asciende a 4.700 Mill. €.

Por otro, las infraestructuras de los aprovechamientos fluyentes se valoran a una media de 715 €/kw, lo que supone una valoración total, para los 16.569 MW instalados en régimen ordinario de 11.850 Mill.€

De esta forma se obtiene un valor total de las centrales de Régimen Ordinario de 16.550 Mill. €

Activos hidroeléctricos en Régimen Especial:

En este caso el valor medio por kw se considera a 1.311 €/kw lo que supone para los 1.648 MW actualmente instalados un valor de 2.160 Mill. €.

Por tanto, el coste total de las C.H de régimen ordinario y las de régimen especial asciende a 18.710 Mill.€.

3.1.4 Conclusiones.

En base a estos datos, el período bruto de retorno de la inversión sería de 24,2 años, considerándose como tiempo necesario para su rentabilización aproximadamente 60 años. Lo que en principio podría hacer justificable (argumentando exclusivamente los aspectos económicos) los planes de sustitución de las centrales hidroeléctricas por centrales de gas de ciclo combinado.

4 Análisis de los datos utilizados por los informes de la Administración.

Analizando los datos evaluados en los informes requeridos por la administración, la primera observación que tenemos que exponer es que las conclusiones a las que se ha llegado, se han obtenido en base a un análisis global y generalizado de los costos y producciones del parque hidroeléctrico Nacional, no teniendo en cuenta que algunas cuencas, y específicamente la Cuenca del Ebro es enormemente rentable, proporcionando un sistema energético eficiente, limpio, seguro y de una inmensa utilidad y servicio comunitario.

Desarrollamos a continuación el resumen del análisis efectuado de los informes referenciados y sus resultados.

4.1 Índices fundamentales.

Para la evaluación de los usos del agua en la Cuenca del Ebro, hemos establecido dos índices fundamentales

- *Índice de la productividad del aprovechamiento:* indica la relación entre la energía producida y la potencia instalada, resultando las horas equivalentes de funcionamiento es decir las horas que la central estaría funcionando en condiciones de salto y caudal nominales, para producir la energía total del año considerado.
- *Índice de eficiencia del aprovechamiento del agua utilizada:* indica la energía obtenida por Hm^3 en cada cuenca.

4.2 Cálculo global del índice de la productividad de los aprovechamientos.

En base a los datos de los informes referenciados, las horas equivalentes del régimen ordinario son: $31.243 \text{ Gwh.año} / 16.569 \text{ MW} = 1.885 \text{ h. equivalentes}$.

En el caso de las explotaciones hidráulicas acogidas al régimen especial se obtienen: $4.500 \text{ Gwh.año} / 1.648 \text{ Mw.} = 2.700 \text{ horas equivalentes}$.

Estos resultados muestran la baja productividad del principal parque hidroeléctrico nacional, constituido por las centrales de régimen ordinario, sin embargo, el resultado global enmascara realidades concretas de la alta productividad de las cuencas ricas en recursos energéticos del agua tal como podemos deducir observando los datos de los siguientes apartados.

4.3 Índice de productividad por Cuenca

El índice de productividad (horas equivalentes) correspondientes a cada cuenca fue en el período analizado para el informe de UNESA (elaborado en el 2004) puede observarse en la tabla siguiente:

Cuenca	Régimen Ordinario (h. equiv.)	Régimen Especial (h. equiv.)
Norte	2.148	2.729
Duero	1.971	2.732
Tajo	1.802	2.735
Guadiana	1.173	2.764
Guadalquivir	1.349	2.727
Sur	422	2.800
Segura	1.893	2.737
Júcar	1.026	2.732
Ebro	2.274	2.728
Intern. Cataluña	1.988	2.735

Se puede comprobar, en base a los datos utilizados por UNESA, que en el régimen ordinario, el índice de productividad mayor es el de la cuenca del Ebro, seguida de las cuencas del Norte y Duero, siendo similar en todas las cuencas en régimen especial.

No obstante, en este análisis se están considerando las centrales de bombeo, cuya finalidad fundamental no es la producción de energía eléctrica, sino la de regulación de los flujos energéticos, y aplanamiento de la curva de demanda, constituyendo sistemas energéticamente poco eficientes, pero económicamente muy rentables. En un análisis de rentabilidad, tal como el que se ha presentado a la administración, basado en potencia instalada y energía generada, no es justificable la inclusión de las centrales de bombeo, que afectan a los balances energéticos de productividad, sobre todo a la cuenca del Ebro, como a continuación exponemos.

4.3.1 Influencia de las centrales de bombeo en el índice de productividad de las centrales de la Cuenca del Ebro.

En la cuenca del Ebro, en el 2004 se encontraban 751 MW instalados en centrales de bombeo, y considerando la misma utilización que la media nacional, estas produjeron 1.276,7 GWh año. En consecuencia, el parque de generación hidroeléctrica de régimen ordinario en la cuenca del Ebro, consiste en 2.580 MW, con los que se producen 6.299 GWh año resultando 2.441 h.eq, que corresponde al Índice de productividad de las centrales de régimen ordinario en la Cuenca del Ebro.

Es decir, la Cuenca del Ebro presenta una productividad un 11% superior a la siguiente mas rentable (la cuenca Norte con 2.198h.eq.), y un 29,5% superior a la media nacional (1.885 h.eq.) considerada en el informe para la justificación de la baja rentabilidad económica de las centrales hidroeléctricas.

4.4 Índice de eficiencia del aprovechamiento del agua utilizada.

En la tabla siguiente, obtenida del MAPA, se observa dicho índice en las diversas cuencas hidrográficas españolas, en ella se observa la enorme diferencia del aprovechamiento que en cada cuenca puede obtenerse por cada Hm³.

Cuenca	Índice eficiencia (GWh/Hm³)
Norte	0,24
Duero	0,50
Tajo	0,42
Guadiana	0,06
Guadalquivir	0,11
Sur	0,07
Segura	0,21
Júcar	0,39
Ebro	0,49
Intern. Cataluña	0,22
Media Nacional	0,32

La cuenca del Ebro junto con la del Duero son las de mayor índice de aprovechamiento por Hm³, pero si consideramos que en la cuenca del Duero no existen centrales de bombeo, y que en la del Ebro hay 751 MW de centrales reversibles, en las que, como se ha explicado anteriormente, la rentabilidad de la producción energética es muy inferior, podemos asegurar que también en base a este índice, la cuenca del Ebro es la mas eficiente.

4.5 Análisis de la rentabilidad de las C.H. fluyentes:

Como se ha demostrado hasta el momento, la rentabilidad de las centrales hidroeléctricas, y sobre todo las de la Cuenca del Ebro, es significativamente superior a la expuesta en los informes utilizados por la Administración. Esta alta rentabilidad se manifiesta en mayor medida analizando las características de funcionamiento de las centrales fluyentes en régimen ordinario.

A estas centrales no debería imputárseles ningún coste de reposición de presas y embalses, ya que aprovechan infraestructuras realizadas para usos múltiples. Dichas imputaciones se deben aplicar a las centrales de regulación (en las que se incluyen las de bombeo).

Según los datos, y precios adoptados por UNESA, la potencia instalada en centrales fluyente de régimen ordinario es de 3.737 MW, siendo la energía generada por éstas 16.871GWh anuales, por lo que el Índice de productividad de las centrales fluyentes en régimen ordinario alcanza las 4.514,6 horas equivalentes.

Tenemos que hacer notar la enorme diferencia entre el índice de productividad adoptado en los informes oficiales (1885 h. eq.), y el realmente obtenido en las centrales fluyentes en régimen ordinario (4.514,6 h. eq.), centrales que constituyen la mayor parte de la producción hidroeléctrica Nacional.

Estas centrales al precio estipulado por UNESA de 715 € kw, resultan a un coste de 2.672 Mill €, produciendo 604 Mill €, al que hay que restar los gastos de explotación (mantenimiento y reposición de materiales), considerados en 0,0165 € kwh., lo que supone un total de 278.371.500 €.

Recapitulando las principales conclusiones respecto de las centrales fluyentes de régimen ordinario son:

- Producción anual 604.Mill €
- Coste de las centrales: 2.672 Mill €
- Coste gastos de explotación y mantenimiento: 278.371.500 €
- Valor generado neto $604-278,371= 325,63$ Mill €

Lo que supone un período de retorno bruto de 8,2 años, sustancialmente inferior a los 24,2 años contabilizados con el análisis global efectuado en los informes de referencia.

4.5.1 Sobrevaloración de los gastos de explotación de las C.H.

El costo de explotación por kwh. utilizado en los informes de valoración económica, es de 0,0165 € deducido de los costos de explotación de todas las centrales valoradas por UNESA, y restando los costos de combustible del resto de las otras centrales. (pg. 22 Inf).

El costo utilizado es exageradamente superior a la realidad de los costos de explotación, y para darnos cuenta de esta sobrevaloración, apliquemos este costo a una central de régimen ordinario fluyente, en la que resultaría que estos gastos ascenderían a la mitad de la facturación bruta, cuando se trata de centrales automatizadas con control y supervisión remotas.

Considerando un costo medio de explotación de 0,006€ kwh, basado en datos tomados de instalaciones reales, los costos de explotación para la producción de los 16.871GWh de las centrales de régimen ordinario fluyentes alcanza 101.226.000 €, siendo la facturación neta de 502,77 Mill €, resultando un período de retorno de 5,3 años.

- Costos de explotación para la producción de los 16.871GWh. de las centrales de régimen ordinario fluyentes: 101.226.000 €
- Facturación deduciendo costos de explotación: 502,77 Mill €
- Costo de las instalaciones, considerando 715 € /Kw.: 2.672 Mill €
- Período de retorno bruto: 5,3 años

Según los informes disponibles por la C.H.E. en la cuenca del Ebro, el índice de productividad media de las centrales fluyentes en régimen ordinario, es mayor que el indicado en los informes de UNESA, resultando en consecuencia una razón mas contundente, no solamente para que no entren nuestras centrales en el programa de la sustitución, sino que pueda considerarse seriamente la implantación de nuevas centrales hidroeléctricas.

4.6 Análisis de la rentabilidad de las Centrales Hidroeléctricas en régimen especial:

En el régimen especial, las centrales tienen en general menor índice de utilización que las de régimen ordinario fluyentes, y el coste de las infraestructuras es superior, viniendo justificada su rentabilidad por el mayor precio convenido por la Administración.

En el Régimen especial, según datos del Ministerio:

Potencia instalada MW	Producción GWh/año
1.648	4.500

4.6.1 Valoración de la energía hidroeléctrica en régimen especial a precio de mercado 2004.

Considerando una valoración media del Kwh. de 0,068 €, el producible hidroeléctrico, de 4.500 GWh/año, se puede valorar en:

- Facturación anual bruta por energía generada en régimen especial: 306 Mill.€/año.
- Con unos costos de explotación de 0,006€ Kwh., resultan: 27Mill €/año
- Facturación anual deduciendo gastos explotación: 279 Mill €

4.6.2 Valoración de activos hidroeléctricos.

- Valor medio del coste del kw según el Ministerio: 1.311 €/Kw.
- Valor estimado para los 1.648 MW instalados: 2.160 Mill. €.
- Período de retorno: 7,74 años

4.6.3 Las Centrales Hidroeléctricas de régimen especial en la cuenca del Ebro.

El índice de productividad de las centrales de régimen especial en las diversas cuencas españolas, es muy similar, con una media del orden de 2.740 h equivalentes.

Sin embargo debemos tener en cuenta que entre las subcuencas, y entre las explotaciones ubicadas en cada comunidad autónoma, existen grandes diferencias, haciendo injustificable el tratamiento genérico y por igual de todas las explotaciones hidroeléctricas, procedente de un estudio global.

En la Cuenca del Ebro en la zona correspondiente a la Comunidad Autónoma de Aragón, los datos contrastados de las centrales en régimen especial son:

- Potencia instalada en régimen especial: 174 MW.
- Producción en régimen especial: 930 GWh
- Índice de productividad: 5.345 h.eq.
- Costo instalaciones a 1.311 € Kw. : 228,114 Mill €
- Facturación bruta $930.000 \times 68 = 63,24$ Mill €.
- Gastos explotación $930.000 \times 6 = 5,58$ Mill €.
- Facturación deduciendo gastos explotación: 57,66 Mill €
- Período retorno: 3,96 años

La rentabilidad de las Centrales hidroeléctricas en la cuenca del Ebro es con diferencia la más alta de España.

4.7 Conclusiones del estudio del análisis de la valoración energética de los usos el agua en explotaciones hidroeléctricas actuales en la Cuenca del Ebro.

En la cuenca del Ebro, dado el alto número de horas de funcionamiento al año con respecto a la media nacional, de los 24,2 años de tiempo de retorno del capital invertido considerado por la Administración, se obtienen 5,2 años en las centrales fluyentes en régimen ordinario, y 4 años en las de régimen especial.

La rentabilidad de las C.H. en la cuenca del Ebro está totalmente demostrada, no siendo comparables con las explotaciones termoeléctricas de ningún tipo. Se pone en evidencia la dudosa rentabilidad de las centrales de ciclo combinado, en las que al precio actual del gas* de uso industrial ha hecho subir el precio del Kwh. en bornes de central a valores mas altos que los que se pagan en el pool.

Desde esta perspectiva, y considerando las tasas por emisiones de CO₂, el futuro del gas en su aplicación a la generación de energía eléctrica es totalmente dudosa y discutible, poniéndose en evidencia el grave error de las estrategias y políticas energéticas adoptadas en Europa.

En una política energética razonable, en la que en el marco de establecimiento de una estrategia de ahorro y eficiencia energética que tenga como principales objetivos la reducción de la dependencia energética exterior, disminución del crecimiento de la intensidad energética, y la reducción de emisiones contaminantes, deberían eliminarse las actuales barreras administrativas, permitiéndose al menos en Aragón la nueva implantación de minicentrales hidroeléctricas en régimen fluyente, adaptadas a los sistemas de riego y a los cauces naturales de nuestros ríos.

*Precio medio aritmético de Kwh. en el pool en lo que va del año 2007, 3,62614 c€. Con un precio de compra del gas natural importado durante los últimos mese de 2,35 c€. Según diversas publicaciones el coste total del Kwh. en bornes central de ciclo combinado es como mínimo (central de 400MW) de 5 c€.

5 Las nuevas tecnologías aplicables a las explotaciones hidroeléctricas y su incidencia sobre los usos energéticos del agua.

5.1 Turbinas a velocidad variable:

Las tecnologías de Electrónica de Potencia aplicadas a las explotaciones hidroeléctricas, proporcionan sistemas de mayor eficiencia energética, posibilitando explotaciones de bajo salto y ubicaciones en pequeños azudes y canales convencionales de riego.

La obtención de energía eléctrica por impulsión del agua sobre las palas con sistemas a velocidad variable, se consigue de forma eficiente y mínima afección sobre el medio ambiente. Se hace rentable el aprovechamiento de pequeños saltos en régimen fluyente, integrando la turbina en la propia estructura del azud o en tramos de rápidas en canales de riego.

Con las técnicas de generadores de imanes permanentes, mediante las que se integra el generador al rodete, la obra civil necesaria es apenas identificable, permitiendo la instalación de un mínimo equipamiento electromecánico en el lugar de mínima afección ambiental, mas adecuado.



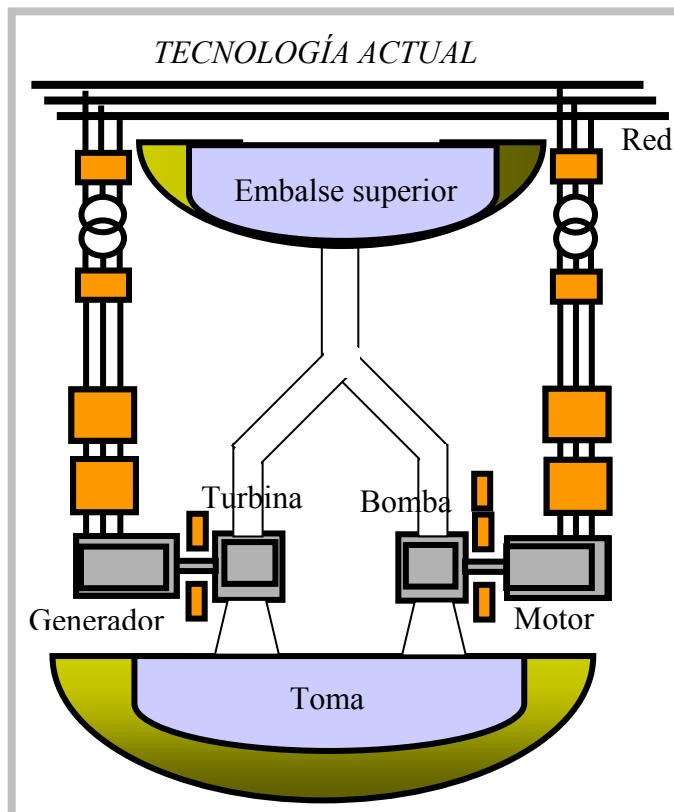
Con los sistemas a velocidad variable, se consigue generación hidroeléctrica de muy alta calidad, ya que puede funcionar en isla, o conectarse a redes débiles para su estabilización y mejora de la calidad de servicio en la zona de aplicación de la red de distribución correspondiente.

5.2 Aplicación de los sistemas de velocidad variable en infraestructuras hidroeléctricas reversibles: Sistemas Turbina-Bomba de alta eficiencia.

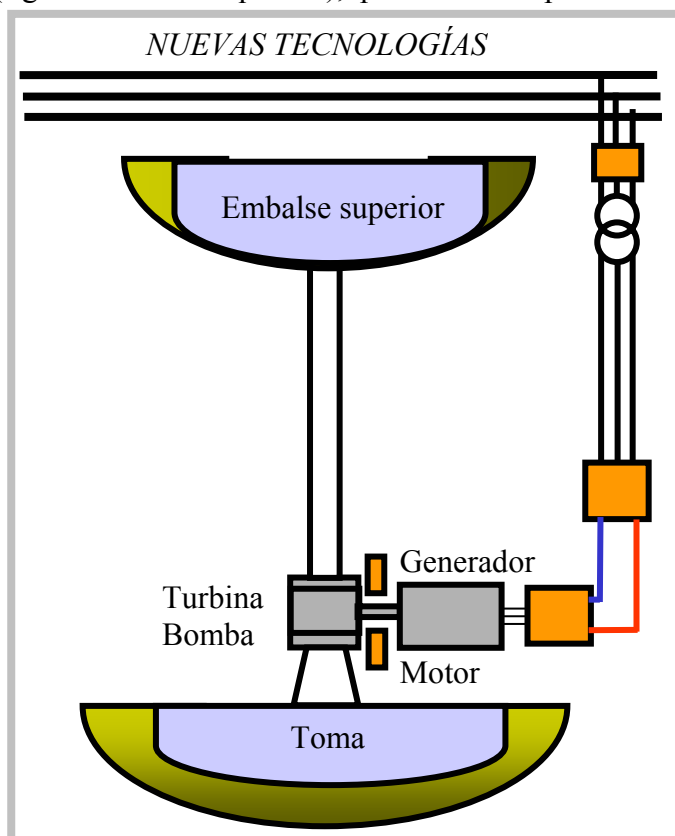
Son en la actualidad muy conocidos los sistemas hidroeléctricos reversibles, en los que se utiliza el agua como elemento almacenador de energía. El agua se impulsa a un embalse superior en los momentos de conveniencia de consumo energético, y cuando es necesario, se transforma en una instalación generadora hidroeléctrica liberando la energía potencial turbinando el agua en su caída a un embalse inferior.

Aunque el balance energético del sistema es negativo (rendimiento entre un 65 y 70%), la rentabilidad proviene por la aportación de las características de regulación y estabilización del sistema eléctrico.

Con las tecnologías convencionales (figura de la derecha), estas instalaciones son complejas y muy costosas y solamente pueden rentabilizarse en grandes explotaciones (decenas de MW).



Los sistemas de generación a velocidad variable con las técnicas de electrónica de potencia (figura inferior izquierda), permiten la optimización del uso de la turbina o bomba, y su funcionamiento reversible proporcionando sistemas hidroeléctricos de alta eficiencia, con unas instalaciones simples, robustas y rentables, disminuyendo drásticamente la complejidad de las infraestructuras y posibilitando los usos energéticos del agua en pequeñas instalaciones integradas en las infraestructuras de los cultivos de regadío agroalimentarios.



Los sistemas de riego con bombes a pequeñas balsas, podrán ser utilizados reversiblemente, aprovechando las infraestructuras actualmente dedicadas exclusivamente al riego, para el almacenamiento y generación de energía eléctrica, pudiendo colaborar a la regulación y estabilizando del sistema eléctrico de la zona.

5.3 Aplicación a la integración de las infraestructuras de riego con sistemas de generación eólica y generación solar fotovoltaica en la cuenca del Ebro

El aprovechamiento de los recursos energéticos renovables autóctonos, es una exigencia cada vez más perentoria para el desarrollo sostenible de nuestra sociedad, pero como ya sabemos, las energías renovables principalmente la eólica y solar, no son gestionables de por sí, siendo necesario para su óptima explotación la disponibilidad de sistemas de almacenamiento eficientes y rentables.

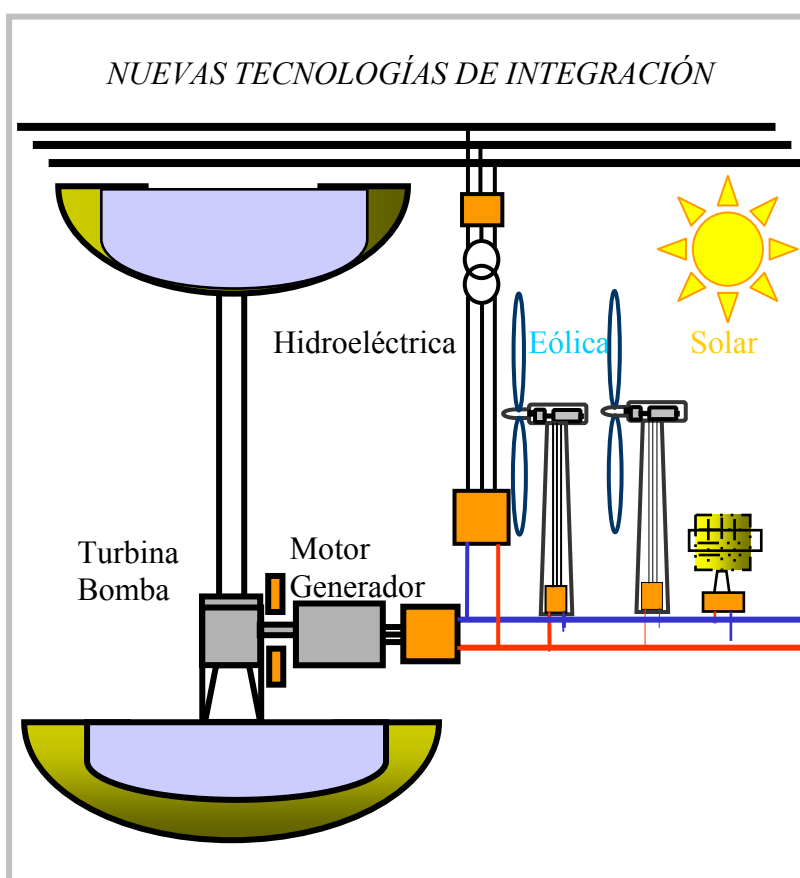
En el ámbito rural cuya existencia y desarrollo se base en las explotaciones agrarias y ganaderas obtenidas de la utilización de la tierra y el agua, se puede disponer de forma rentable como se ha expuesto anteriormente, de sistemas de almacenamiento de agua y su circulación entre depósitos de diferente altura, proporcionando un almacenamiento energético de alta eficiencia, que si se dimensiona adecuadamente, puede ser utilizada además para la gestión de la energía eólica y solar incidente en el lugar compatible con el resto de actividades agrarias tradicionales.

Dadas las excepcionales circunstancias de la disponibilidad de recursos renovables en la cuenca del Ebro, la integración de las energías renovables sol y viento, a los sistemas de explotación convencionales, pueden proporcionar una importante diversificación de recursos, con una gran rentabilidad y grandes perspectivas.

Con las tecnologías de integración eólica-solar-hidroeléctrica, las actuales explotaciones basadas en la elevación de agua para riego, ya sea de los cauces naturales, como de los freáticos de las aguas subterráneas a cotas superiores pueden ser utilizadas como sistemas de almacenamiento energético, permitiendo la gestión y regulación de la energía.

La integración de una instalación eólica-solar, con la explotación hidroeléctrica reversible asociada a un embalse como sistema de almacenamiento, que en el caso de la utilización de recursos acuíferos subterráneos podría estar constituido por el propio

cauce natural del río, puede permitir la explotación de un sistema de suministro energético capaz de funcionar en isla, o de apoyar las redes eléctricas débiles de la zona.



Mediante estas infraestructuras, el uso del agua proporciona un vector energético alternativo a otros, pero con una eficiencia, limpieza y seguridad, que lo hacen insustituible. El potencial energético aprovechable con estas tecnologías de integración es importantísimo.

El agricultor podrá diversificar su actividad tradicional agroalimentaria con la energética mediante un aprovechamiento óptimo de los recursos que ya está utilizando: el suelo y el agua, integrando además el sol y viento existente en la zona, pudiendo negociar en el mercado con energía eléctrica de alta calidad, absolutamente limpia, gestionable y estabilizante del sistema.

5.4 Conclusión sobre las nuevas tecnologías de velocidad variable, aplicables a las explotaciones hidroeléctricas y su incidencia sobre los usos energéticos del agua.

La utilización de las técnicas de velocidad variable en la generación hidroeléctrica, aplicadas a pequeños saltos en régimen fluyente, y a su imbricación en canales de riego, ofrece unas grandes posibilidades en los **futuros usos energéticos del agua**, con instalaciones altamente rentables y respetuosas con el medio ambiente.

La integración de los usos energéticos convencionales del agua y tierra, con las tecnologías de explotación eólica y solar fotovoltaica, posibilitarán la **utilización del agua, como el vector energético de la mayor eficiencia, limpieza y seguridad que se puede obtener** en la actualidad, permitiendo al agricultor, participar además de en el mercado agroalimentario y ganadero, en el mercado energético de grandes perspectivas de futuro.

6 Los usos del agua en cultivos energéticos.

6.1 Agroenergética

Los cultivos energéticos son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible, bien para la automoción o bien para producir calor y/o energía eléctrica. En la actualidad, los cultivos destinados a la producción de biomasa con fines energéticos pueden agruparse en tres tipos fundamentales en función del destino final de la biomasa:

- *Cultivos oleaginosos* para la producción de aceite transformable en biodiesel (conjunto de ésteres metílicos o etílicos de los ácidos grasos de los aceites vegetales) para sustitución del gasóleo de automoción.
- *Cultivos alcoholígenos* para la producción de etanol utilizable en sustitución total o parcial de las gasolinas de automoción o para la producción de aditivos antidetonantes exentos de plomo como el Etil-Terbutil-Eter (ETBE).
- *Cultivos lignocelulósicos* para la producción de biocombustibles sólidos utilizables con fines térmicos, principalmente para la producción de electricidad (agro electricidad).

En estos momentos en los que el incremento del coste de la energía hace crecer las expectativas de los agricultores en los cultivos energéticos, se hace cada vez más necesario el ahorro y uso eficiente del agua. En este sentido, los sistemas de riego por goteo o por aspersión, mediante los que se obtienen mayor rendimiento en la producción de la tierra, requieren un mayor consumo energético, conduciéndonos ante un dilema esencial: la elección sobre las prioridades a adoptar, el ahorro y eficiencia energética o el ahorro y eficiencia en el consumo y utilización del agua.

Se han publicado múltiples artículos, estudios, e informes en todo el mundo, y se están desarrollando industrias dedicadas a la explotación de estos recursos, sin embargo nos encontramos entre multitud de opiniones a favor y en contra, y las reacciones de amplios sectores sociales se contradicen creando una gran confusión sobre todo entre los ámbitos interesados en los escenarios energéticos.

Por parte, la Administración no se está concediendo suficientes incentivos en base a exenciones fiscales, o primas específicas, que hagan decidirse a los agricultores por la diversificación de los usos del suelo, dedicando las tierras también al mercado energético.

En el contexto de los usos energéticos del agua, y los posibles escenarios futuros que deban ser contemplados en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro, al que corresponde este informe, consideramos importante exponer el resultado de los análisis de las informaciones publicadas por organismos tutelados por la Administración, y por otros centros e instituciones, así como de datos obtenidos por algunas industrias de biocombustibles, exponiendo al final las conclusiones a que nos conducen.

En este documento se han analizado fundamentalmente un documento elaborado por el CIEMAT y patrocinado por el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Educación y Ciencia titulado: “Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles Alternativos en el Transporte”, en sus dos fases:

- Fase I. Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina.
- Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo de biodiesel y diesel

6.2 La controversia de los cultivos energéticos: Los biocarburantes

Según los estudios referenciados, y determinadas informaciones comunicadas por las empresas consultadas, se deducen y publican una serie de argumentos justificando el interés de la dedicación de las tierras a los cultivos energéticos declarando al biodiesel como más rentable, y al bioetanol en segundo lugar.

No obstante, el argumento sobre la rentabilidad de la dedicación a estos cultivos, se basa en análisis y balances energéticos, en los que se aplican reglas y métodos de asignación para los diferentes componentes de los procesos, y se utilizan factores porcentuales para deducir la energía fósil consumida en función de la energía primaria utilizada en las diferentes fases, según la procedencia y porcentajes de las materias primas, es decir, que se expone un contexto general, del que hace falta extraer datos sobre la participación y evaluación de las labores propias de los cultivos y rendimientos de las tierras dedicadas a este negocio.

Efectuado un estudio de los documentos e informaciones exponemos los resultados de forma sintética, basándonos en el criterio de la eficiencia energética del proceso, entendida como la relación entre la energía contenida en un Kg. del producto final (evaluada en su PCI), y la energía primaria que se ha necesitado utilizar en el proceso para su obtención. Las tecnologías de lo procesos considerados, son las mas consolidadas en la actualidad.

El porcentaje de energía necesaria para la obtención del producto, será la inversa de la eficiencia.

También exponemos los resultados del análisis aplicados a una hectárea dedicada a los diferentes cultivos.

6.3 Resultados del análisis sobre los cultivos de biodiesel en seco.

Según las fuentes de información consultadas, dadas las condiciones agroclimáticas del suelo en España, los cultivos oleaginosos dedicados a la producción de biodiesel mas rentables son la colza y el girasol, motivo por el que el análisis de los informes técnicos se reduce a estos dos cultivos.

Resultado mediante cultivos en seco:

Tipo de cultivo	Producción semilla Girasol	Producción semilla Colza
Secano	0,8 t/ha. 2,386kg semilla - 1kg aceite 335,3 Kg. aceite-327,47 kg.biod	1,397 t/ha 2,56 kg Semilla - 1kg. Aceite 545,7 kg. aceite -533,4 kg.biod

Energía primaria utilizada en la obtención de biodiesel en seco (Mj./kgr. biodiesel):

Proceso	Girasol Energía primaria (Mj./Kg. biodiesel)	Colza Energía primaria (Mj./Kg. biodiesel)
Producción semilla	11,5	15,566
Transporte a planta extracción	1,094	0,37
Tratamiento y extracción	7,48	9,55
Transporte a planta biodiesel	0,56	0,56
Proceso de refinado	0,99	0,99
Proceso de transesterificación	6,76	6,76
Transporte a planta mezclas	0,45	0,45
Total energía primaria	28,834	34,246

6.3.1 Rendimiento energético de las tierras de cultivo de girasol y colza en seco dedicado a los biocarburantes.

Las características del combustible estudiado son:

Combustible	Densidad (Kg./l)	PCI (Mj. /Kg.)
Biodiesel puro (BD 100 A1)	0,88	37,31
Diesel EN-590	0,835	41,85

Definiendo la eficiencia del proceso, como la relación entre la energía del producto, en términos del poder calorífico inferior (PCI), y la energía primaria necesaria para producir y distribuir el producto (M.A.P.A.) y teniendo en cuenta que con una densidad de 0,88kg/l. el contenido energético del biodiesel es 37,31 Mj. /kgr., La eficiencia del proceso, considerando exclusivamente la energía primaria externa necesaria introducida al sistema, resulta ser:

	Girasol	Colza
Total energía primaria necesaria (Mj./Kg.)	28,834	34,246
Eficiencia en cultivos de seco	1,294	1,089
Porcentaje energía necesaria	77,28%	92%

Contando exclusivamente energías externas al proceso, para la producción de biodiesel, cuyo PCI es 37,31 Mj./Kg., se necesita el 77,2% de la energía obtenida con girasol, y el 92% de la energía producida con biodiesel de colza.

6.3.2 La asignación de la glicerina.

En la obtención del balance energético desde el análisis del ciclo de vida, se asigna la estimación del valor energético de la glicerina producida por cada Kg. de biodiesel (91,4 g. 11,2 Mj./Kg.) en el proceso de desesterificación, no como la parte proporcional másica, sino como la que se evitaría en la producción de glicerina sintética en el caso de que ésta fuera sustituida por la procedente de plantas de biodiesel. Consideramos que en la actualidad, esta asignación es totalmente injustificada, ya que el mercado está saturado de glicerina, de forma que el verdadero problema es cómo deshacerse de ella sin incrementar los costos.

6.3.3 El consumo de agua en el proceso industrial.

El consumo de agua en el proceso de extracción de aceite, en el refinado y en la transesterificación es de 1,9 Kg. de agua por Kg. de biodiesel de girasol, y de 1,39 Kg. de agua por Kg. de biodiesel de colza.

6.3.4 Producción por Hectárea del cultivo de girasol y colza en seco.

Considerando la producción por hectárea de cultivo en seco, teniendo el biodiesel una densidad de 0,88kg/l., y un PCI de 37,31 Mj. /Kg., se obtiene:

	Producción semilla Girasol	Producción semilla Colza
	0,8 t/ha. 327,7 kgr. biodiesel 372,45 litros biodiesel 12.226 Mj. /ha.	1,397 t/ha 533,43kgr. biodiesel 606,2 litros.biodiesel 19.902Mj/ha
Energía necesaria	9.449 Mj./ha	18.268

6.3.5 Porcentajes de energía utilizada en las labores de cultivo en seco.

De la energía invertida por ha en girasol: 9.449 MJ/ha., el 43,7% corresponde a las labores agrícolas. Y de la invertida en colza: 18.314,44 Mj. por ha., un 45,3% o sea 8.303,4 Mj./ha corresponde a las labores agrícolas.

Según los análisis del CIEMAT, en gastos exclusivos en labores mecánicas agrícolas en seco, se han considerado: 1.412,69 Mj./ha en girasol, y 1.632,64 Mj./ha en colza, es decir que se han utilizado 37,85 Kg. (43 litros). de biodiesel para las labores mecánicas de una hectárea de girasol, y 38,5 Kg. de biodiesel (43,75 litros.) en colza.

6.3.6 Utilización de la producción del biodiesel por hectárea de seco, en el funcionamiento de un vehículo de referencia.

El vehículo de referencia en el que se usarán los combustibles estudiados por el CIEMAT es el Ford Focus 1.8 TDDi 90 CV. Las prestaciones del vehículo son las siguientes:

- Aceleración 0 - 100 km/h: 12,5 s
- Velocidad máxima : 180 km/h
- Peso del vehículo: 1288 kg
- Potencia máxima: 66 Kw. (90CV) a 4000 rpm
- Par máximo: 200 Nm a 2000 rpm
- Consumo de combustible (pruebas oficiales según la directiva 93/116/CEE) válido cuando el vehículo usa gasoil: 5,4 l/100km.- Emisiones de CO₂: 1 43 g/km

El vehículo de referencia considerado en el estudio del CIEMAT consume 5,4 l/100km con gasóleo convencional, 34,94 Mj./l – 0,835 Kg./l.-correspondiendo 188,73 Mj./100 Km. Es decir 5,75 litros de biodiesel a los 100 Km.

Con el vehículo de referencia, con la producción del biodiesel en un año de girasol en secano en una ha., podremos recorrer 6.478 Km., y 10.542 km con lo producido en una ha. de secano dedicada a colza.

Pero si descontamos la energía total necesaria para la producción del biodiesel por hectárea dedicada a girasol en secano, con la energía restante, podríamos recorrer 1.471 Km., y 866 km. con la de colza.

6.4 Resultados del análisis sobre los cultivos de biodiesel en regadío.

6.4.1 Los cultivos de biodiesel en regadío por gravedad.

La producción energética de biodiesel en regadío es más del doble que en secano, y si consideramos que en la mayor producción de semilla, se ha invertido la misma proporción de energía necesaria, la eficiencia energética seguirá siendo la misma.

	Producción Girasol	Producción Colza
	2 t/ha. semilla 819,16 Kg. biodiesel por ha. 30.571 Mj. /ha 3,06 Mj./m ²	3,18 t/ha. semilla 1214,3 Kg. biodiesel por ha. 45.317 Mj./ha 4,5Mj/m ²
Energía necesaria	23.630 Mj./ha (23.620)	41.585 Mj./ha

De la energía necesaria total estimada en el cultivo de girasol en regadío a pie, corresponden 10.327 Mj./ha , a las labores agrícolas, y en colza 21.614 Mj./ha.

Total energía primaria necesaria por ha	23.630 Mj./ha.	41.585 Mj./ha
Eficiencia en cultivos de secano	1,294	1,089
Porcentaje energía necesaria	77,28%	92%

6.4.2 Obtención de biodiesel en regadío por aspersión

Tomando el valor del consumo energético medio por m³ de los riegos por aspersión en la zona regable del Cinca (Huesca), cuyo valor es 1,4Mj/m³ y considerando una producción media en riego por aspersión de 3.000 Kg. de girasol por ha.

Según el estudio expuesto en “Evaluación de un perímetro de riego en la zona regable del Cinca” Las plantaciones de girasol en la zona analizada, precisan un riego de apoyo de 4.000 m³ por ha., y tomando los datos estimados en las publicaciones de que mediante riego por aspersión se pueden conseguir entre 2.000 y 4.000 toneladas de girasol por ha, el consumo medio por kg. de biodiesel de girasol solo por el regadío resulta ser 5.600 Mj./ha de girasol.

Considerando que la colza requiere menos agua, asignaremos 3000 m³ por ha. de apoyo, con lo que resulta para la colza 4200 Mj./ha por riego en aspersión.

Producción Girasol	Producción Colza
3 t/ha. semilla	4,770 t/ha. semilla
1229,5 Kg. biodiesel por ha.	1821,3 Kg. biodiesel por ha.
45.885,2 Mj. /ha	67.976,5 Mj./ha
4,59 Mj./m ²	6,8 Mj./m ²

6.4.3 Energía primaria necesaria en la producción de biodiesel en cultivos con regadío por aspersión.

Proceso	Girasol Energía primaria (Mj./Kg. biodiesel)	Colza Energía primaria (Mj./Kg. biodiesel)
Producción de la semilla	11,5+4,55=16,05	15,566 +2,33=17,9
Transporte a planta extracción	1,094	0,37
Tratamiento y extracción	7,48	9,55
Transporte a planta biodiesel	0,56	0,56
Proceso de refinado	0,99	0,99
Proceso de transesterificación	6,76	6,76
Transporte a planta mezclas	0,45	0,45
Total (Mj./Kg. biodiesel)	33,38	36,58

6.4.4 Rendimiento energético de los cultivos de biodiesel en regadío por aspersión

Total energía obtenida por ha.	45.885,2 Mj. /ha	67.976,5 Mj./ha
Total energía primaria necesaria	41040,7 Mj./ha.	66.623 Mj./ha
Eficiencia	1,118	1,02
Porcentaje energía necesaria	89.5%	98%

Para la producción de biodiesel en regadío por aspersión en las zonas analizadas en Aragón, necesitamos utilizar el 89,5% de la energía obtenida con biodiesel de girasol, y el 98% de la energía producida con biodiesel de colza.

6.4.5 Aplicación de resultados al vehículo de referencia

El vehículo de referencia considerado, consume 188,73 Mj. /100 Km., con lo que se recorrerían después de descontar la energía necesaria en todo el proceso para su obtención, 2.566 Km. Con la producción de una ha. de regadío por aspersión dedicada a girasol, y 717 km. con el de una ha de colza.

6.5 Los cultivos de etanol de cereales

Siguiendo el mismo procedimiento que en el análisis del balance energético en los ACV comparativo del **etanol** obtenido a partir de **cereales** y de la **gasolina de 95 octanos**.

Fase I. Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina.

Producción con semilla trigo	Producción con semilla cebada
3,409 t/ha. de semilla 3,38kg semilla-1kgr etanol 1008,6 kg. de etanol por ha.	2,97 t/ha de semilla 3,84 kg. semilla-1kgr. etanol 773,4 kg. de etanol por ha.

6.5.1 Balance energético en la producción de bioetanol

El balance de la energía primaria necesaria para la obtención de bioetanol, en el mejor de los casos, considerando la densidad 0,784 l/k, y 26,75 Mj./k., resulta negativo.

	Trigo Energía primaria (Mj./Kg. etanol)	Cebada Energía primaria (Mj./Kg. etanol)
Producción y transporte de la semilla	13,85	18,88
Transformación a etanol	20,66	20,66
Transporte a distribución	1,2	1,2
Total (Mj./Kg. Etanol)	35,71	40,74

	Trigo	Cebada
Total energía primaria necesaria por kgr de bioetanol	35,71	40,74
Eficiencia	0,75	0,65
Porcentaje energía necesaria	1,335%	1,523%

6.5.2 Rendimiento energético de los cultivos de bioetanol con trigo y cebada.

	Producción con semilla trigo	Producción con semilla cebada
Energía producida	1008,6 kgr. de etanol por ha. 26.980 Mj. por ha. 2,7 Mj./m ²	773,4 kgr. de etanol por ha. 20.688,45 Mj./ha 2,07 Mj./m ²
Energía primaria requerida	36.017 Mj./ha	31.508 Mj./ha

6.5.3 Aplicación de resultados al vehículo de referencia:

Con el vehículo de referencia estudiado en los análisis de ciclo de vida de los combustibles alternativos del CIEMAT, consume 7,3 litros de gasolina /100km., es decir 5,8kg. de gasolina. Que con un PCI de 42,9 Mj./Kg. le corresponden 2,488 Mj. por Km. Para proporcionar la misma energía con bioetanol, con un PCI en el mejor de los casos de 26,75 Mj./Kg., con la producción de una ha. de trigo podríamos recorrer 10.844 km. y con la de cebada, 8.315, 3 km.

6.6 Resumen de los resultados de los estudios y análisis sobre los cultivos energéticos:

En la documentación estudiada, se manejan y utilizan conceptos y expresiones controvertidas, y se asignan parámetros y asignaciones difíciles de evaluar que incluso son científicamente discutibles.

La creciente necesidad de la obtención y uso de la energía de forma eficiente, nos conduce cada vez más a que en el análisis y valoración de cualquier proceso o actuación, sea el balance energético un factor esencial en la evaluación de sus características y rentabilidad.

Por este motivo, y desde el punto de vista de los usos energéticos del agua, este estudio y sus resultados se han basado fundamentalmente en el balance de energía neta, contabilizando la energía obtenida en el producto final, y la energía primaria que necesitamos invertir para la realización del proceso de transformación. Deduciremos la eficiencia del proceso como la relación entre la energía obtenida y la necesaria para su producción.

En la tabla de resultados comparativos que se expone a continuación, la energía necesaria total en el proceso, se ha desglosado en dos términos:

- Energía necesaria en el cultivo y transporte del producto agroenergético a la planta de procesado.
- Energía necesaria en la realización del proceso en la industria transformadora, y el transporte a los puntos de distribución al mercado.

Resultados comparativos analizados:

Producto	Producción/ha en Mj./ha	Energía por ha en cultivo Mj./ha	Energía por ha en proceso Mj./ha	Eficiencia total
Bioetanol trigo	26.980	13.969,11	22.048	0,75
Bioetanol cebada	20.688,45.	14.601,8	16.906,5	0,656
Biod. girasol seco	12.230	4.127	5.321,8	1,294
Biod. colza seco	19.907,6	8.500,7	9.767,1	1,089
Bio. girasol regadío pie	30.571	10.327	13.303,16	1,294
Bio.l colza regadío pie	45.317,7	19.356	22.233,83	1,088
Bio. Girasol aspersión	45.885,2	21024,5	19.967	1,105
Bio. Colza aspersión	67.976,5	34.785	33.348	0,9977
Cynara h.15% seco	59.625Mj/ha	22.000	2000	2,48
Cynara.15% aspersión.	99.375	27.600	2000	3,36

Como referencia energética comparativa, un pequeño aerogenerador tripala, de 8 metros de diámetro, en las condiciones medias de viento en el valle del Ebro, puede proporcionar más de 100.000 MJ. en un año, y una placa foto-voltaica de 25 m² produce mas energía que una hectárea dedicada al cultivo de girasol en seco.

6.7 Conclusiones obtenidas sobre el análisis de los balances de los cultivos agroenergéticos en la Cuenca del Ebro.

Según estos resultados, la producción de bioetanol resulta con eficiencias claramente negativas. La rentabilidad de estos cultivos y procesos, dependen exclusivamente de las coyunturas políticas y sociales, fundamentándose en las medidas proteccionistas y exenciones fiscales que en cada momento se quieran adoptar.

La rentabilidad energética de los biocarburantes oleaginosos es nula o muy baja.

El biodiesel de girasol, es más rentable que el de colza, y la utilización de técnicas de riego eficientes tales como el riego por aspersión, o por goteo, incrementan la intensidad energética en la fase de cultivo, haciendo disminuir la eficiencia total del proceso.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, la dedicación del agua y tierra a los cultivos energéticos manifiestamente más rentables, es el de los biocombustibles dedicados a la producción de energía eléctrica, destacando por sus características de adaptación a las condiciones climáticas y orográficas de la cuenca del Ebro el cultivo de la *Cynara Cardunculus*, incrementando su rentabilidad en regadío por aspersión.

La eficiencia energética de los cultivos energéticos, es muy inferior a la obtenida con sistemas de aprovechamientos de energía eólica o solar, o con sistemas hidroeléctricos reversibles.

7 Los usos energéticos del agua y la economía del hidrógeno.

En el nuevo escenario energético planteado en base a las tecnologías del hidrógeno, éste se utiliza como elemento de almacenamiento energético, de forma que debe transformarse en energía eléctrica en el lugar de consumo. La aplicación en el escenario de las explotaciones energéticas con energías renovables es evidente, ya que el carácter aleatorio y la falta de adaptación a las exigencias de la demanda que las caracteriza, puede compensarse con la aplicación de procesos de obtención de H₂ y de generación eléctrica con células de combustible en el mismo lugar del aprovechamiento de las energías renovables, o en lugares estratégicamente situados para la optimización y rentabilización de las instalaciones.

No obstante, en estos momentos, los principales y mas baratos suministradores de hidrógeno, son las refinerías de petróleo, y las industrias químicas que obtienen este elemento como subproducto que se libera a la atmósfera.

La cuestión que se plantea es sobre cual será la fuente de producción del hidrógeno: los recursos fósiles que precisamente son los que se quieren evitar, la energía nuclear, o las energías renovables.

En esta futura sociedad del hidrógeno, los usos energéticos del agua se verán absolutamente condicionados a las fuentes utilizadas, ya que si las fuentes son renovables con procesos electrolíticos, se precisarán 800 gramos de agua por cada Kwh. utilizado como energía final*. En cambio si la fuente es fósil, el uso energético del agua será insignificante.

Suponiendo por argumentos completamente contrarios a la realidad de la economía de mercado, que las fuentes fueran renovables, el coche de referencia utilizado por el CIEMAT en los análisis de Ciclo de Vida de los combustibles alternativo, consumirían 0,48 Kg. de agua cada km.

En la nueva economía del hidrógeno el consumo de agua por vehículo de referencia que recorriera 20.000 km año sería de 9.600 kg. Hay que tener en cuenta que el consumo de los autobuses, camiones...etc. es mucho mayor. Se inauguraría un nuevo escenario de los usos energéticos del agua, el de la automoción y transporte.

En el escenario energético actual, la integración de las energías renovables con las tecnologías del hidrógeno, debido a los drásticos e irrefutables balances energéticos, encuentra serias dificultades para su aplicación.

*Con 800gr de agua y los aditivos hidrolizadores correspondientes por hora, y 4,5kWh.conseguimos 1m³ de H₂ cada hora, teniendo un contenido energético de 3kWh por m³.

El tratamiento del H₂, presurización o licuefacción, almacenamiento y transporte puede realizarse con un rendimiento del 80%, por lo que con los 800 g. de agua queda una energía disponible para ser utilizada de 2,4 Kwh.

Como la pila de combustible para obtener nuevamente energía eléctrica tiene un rendimiento en un automóvil como muy favorable del 45%%, la energía disponible quedará en 1,08kWh., pero como aún queda el tratamiento de esta energía de bajo voltaje en corriente continua, para ser transformada, almacenada en baterías y condensadores asociados,...etc., y sumando las pérdidas en conductores y contactos...asignando un 94% de eficiencia conjunta del sistema eléctrico, incluida carga y descarga de las baterías queda aproximadamente 1 Kwh.

8 Propuestas, criterios, recomendaciones para su consideración y tratamiento en el Plan Hidrológico de la cuenca del Ebro.

En este trabajo se han ido desarrollando los conceptos que nos conducen al planteamiento de un posible escenario de los futuros usos energéticos del agua, en determinados aspectos, diferentes a los que actualmente se tiene previstos en todos los ámbitos de la administración, e incluso en muchos de los ámbitos tecnológicos especializados.

La problemática de la subsistencia en la cuenca del Ebro de la actividad agraria tradicional, puesta en peligro entre otras cuestiones por el progresivo encarecimiento de los recursos energéticos, podría verse minimizada mediante la dedicación de las tierras y el agua, a las actividades agroenergéticas. En este contexto, hemos visto que los cultivos energéticos encierran múltiples inconvenientes y limitaciones, haciendo dudosa, por la necesidad de subvenciones y ayudas fiscales, su rentabilidad y proyección de futuro.

El planteamiento convencional, nos conduce a un escenario energético diferente al requerido para conseguir los principales objetivos de la Administración, es decir a la reducción de la dependencia energética exterior, disminución del crecimiento de la intensidad energética, y la reducción de emisiones contaminantes.

Sin embargo, la potenciación y proliferación de pequeñas centrales hidroeléctricas en régimen fluyente con las nuevas tecnologías a velocidad variable, y la compatibilización de las actividades agroalimentarias, con la utilización de las tierras y el uso energético del agua como vector esencial en sistemas de integración de energías renovables eólico y solar, con sistemas hidroeléctricos reversibles y almacenamiento en energía potencial, presenta un panorama alternativo que lejos de ser utópico, pasa a ser cada vez mas realista, y con grandes posibilidades de concretarse en la realidad.

En este nuevo escenario, el agua es el elemento que permite la transferencia de la energía renovable autóctona, para poder ser utilizada en de forma gestionable, limpia y eficiente, adquiriendo un valor muy superior al del escenario convencional.

En consecuencia, proponemos:

- Que se impulsen los estudios y análisis de los potenciales de integración de los recursos eólicos y solares con las condiciones orográficas y acuíferas superficiales y subterráneas de las diferentes zonas de la cuenca del Ebro,
- El estudio y análisis de la implicación y valoración de los usos energéticos del agua en el nuevo escenario.
- El análisis de los potenciales de conversión en sistemas reversibles de las actuales explotaciones de riego por bombeo, y la puesta en práctica en las instalaciones actuales.
- La reconversión a reversibles de las actuales explotaciones hidroeléctricas a pie de presa.
- El análisis de integración de sistemas hidroeléctricos reversibles integrados a embalses, presa azudes.
- La integración en infraestructuras de riego de sistemas hidroeléctricos fluyentes.

9 Visión aproximativa sobre los efectos económicos, sociales y ambientales de las propuestas realizadas.

Ante la problemática creciente de la globalización de los mercados, de la que podemos extraer entre otras cuestiones la dudosa rentabilidad de la dedicación del agua y tierras de la cuenca del Ebro a las tradicionales actividades agroalimentarias y ganaderas, (sobre todo en las zonas altas donde los costos energéticos del riego son cada vez mas elevados), se presenta la alternativa de compatibilidad con la dedicación a las actividades energéticas.

El modelo económico y energético establecido, basado en la proliferación de las centrales térmicas, haciendo cada vez mas irrelevante la participación de las fuentes renovables, y en la que si no se remedia, el uso energético fundamental del agua pasará en breve a la de ser un elemento auxiliar en unos procesos energéticos altamente contaminantes y cada vez mas ineficientes, se contrapone el de la implementación del agua como vector energético esencial, que nos permita la utilización regulada y gestionable de las energías renovables, y que puede conducir a unos grandes y beneficiosos cambios económicos, sociales y ambientales.

Como es de todos conocido, los recursos energéticos renovables son ilimitados, y su captación y almacenamiento nos conduciría a una sociedad con un sistema energético autóctono y distribuido. El uso y proliferación de las energías renovables integradas con los usos del agua y tierra que se expone en este informe, marca una estrategia de actuaciones en el escenario energético que nos conduce a la adopción de importantes y necesarias medidas atenuadoras del cambio climático beneficiando totalmente al medio ambiente, a nuestra sociedad y su desarrollo.

Esta aparente utopía puede hacerse realidad, en los lugares en los que el recurso del agua y las condiciones orográficas del terreno permitan su puesta en práctica, tal como ocurre en la mayor parte de las zonas de la Cuenca del Ebro.

10 Referencias

A continuación se citan las principales referencias sobre cultivos agroenergéticos utilizadas para la elaboración del documento

Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el transporte.

Fase I Análisis del ciclo de vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina

Fase II Análisis del ciclo de vida comparativo de biodiesel y Diesel

CIEMAT-Ministerio de Medio Ambiente-Ministerio de Educación y Ciencia

Evaluación de la Zona regable de Val de Alferche (Huesca).

Evaluación de un perímetro de riego en la zona regable del Cinca (Huesca)

Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

TRAGSA

Fernández González, J.: Balance energético de la producción de biomasa en La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria. CIEMAT, 1996.

Fernández González, J.: La biomasa como energía alternativa para reducir el CO₂ atmosférico. En homenaje a D. Ángel Ramos Fernández. ETSI de Montes. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Academia de Ingeniería, 1999, p. 1265-1286. Madrid.

Fernández González, J.: Posibilidades de producción de biomasa en España mediante el cardo (*Cynara cardunculus* L.) en Jornadas sobre la biomasa en España. Oportunidades de negocio y posibilidades de mercado. ALTENER-IDEA, 2000. Madrid.

Energía De La Biomasa. J. Fernández. En Energías renovables para el desarrollo. Editorial Thomson-Paraninfo. 2003.

Agua para una agricultura sostenible. Técnicas que pueden mejorar la eficiencia en el uso del agua. Fundación Iberdrola