

VALORACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE MEZCLAS DE ALGAS Y RESIDUOS

José Valeriano Álvarez Cabal

Rocío Luiña Fernández

Miguel Ángel Vigil Berrocal

Lucía Rocés Invernón

Universidad de Oviedo. Área de Proyectos

Abstract

Transportation is a major energy-consumer, being responsible for 21% of gas emissions that contribute to global warming. In addition, fossil fuel reserves are limited and restricted to few world areas, thus making Europe heavily reliant on them. It is for this reason that the European Union promotes a global strategy to support the development of oil alternatives that secures future energy supplies with reduced environmental impact.

Biofuels represent a direct substitute for fossil fuels and can be easily integrated into existing supply systems, which facilitates their implementation. However, their production is associated with a series of environmental impact which demand assessment. The controversy over the desirability of biofuel production from the standpoint of environmental and social aspects has been a topic of interest in the last decade. To help improve environmental assessment, efforts have been made to avoid the use of agricultural products susceptible to human consumption.

This paper shows the environmental assessment of the combined production of biogas and biofuel from microalgae and agro-industrial waste, in order to achieve a more autonomous, less waste-generated process, always oriented to the production of fuel for use in the transportation sector. This assessment is made using a Life Cycle Analysis methodology.

Keywords: *Biofuels; Sustainability; Life Cycle Assessment; Microalgae; Agroindustrial Wastes; Transport*

Resumen

El transporte es un gran consumidor de energía, siendo el responsable de un 21% de las emisiones de gases que contribuyen a al calentamiento global. Además, las reservas de combustibles fósiles son limitadas y están restringidas a pocas zonas del mundo, haciendo a Europa muy dependiente. Por estas razones, la Unión Europea promueve una estrategia global de apoyo al desarrollo de alternativas al petróleo para asegurar un abastecimiento energético futuro con un menor impacto ambiental.

Los biocombustibles representan un sustituto directo de los combustibles fósiles y pueden integrarse fácilmente en los sistemas de abastecimiento existentes, lo que facilita su implantación. La polémica sobre la conveniencia medioambiental y social de la producción de biocombustibles ha sido un tema de interés en la última década, llevando a un esfuerzo por evitar el uso de productos agrarios susceptibles de consumo humano.

Este artículo muestra la valoración medioambiental de la producción combinada de biodiesel y biogás a partir de microalgas y residuos agroindustriales para lograr un proceso más autónomo, con menor generación de residuos, siempre orientado a la producción de combustibles que puedan ser utilizados en el sector del transporte. La valoración se realiza utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida.

Palabras clave: *Biocombustibles; Sostenibilidad; Análisis de Ciclo de Vida; Microalgas; Residuos Agroindustriales; Transporte*

1. Introducción

En la actualidad existe un fuerte consumo de energía, lo que supone un aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), siendo el transporte el responsable del 21% de las emisiones. Además de la contaminación que esto supone, se está ante una situación de agotamiento de los combustibles fósiles y una fuerte dependencia de los países productores.

Por otra parte, el Plan sobre el Clima del Consejo Europeo, adoptado el 8 y 9 de marzo de 2007, fija como objetivos la reducción de un 20% del consumo de energía, del 20% de ahorro de energías fósiles y del 20% de suministro de energías renovables en 2020.

Por ello, la Unión Europea se ve motivada a buscar nuevas formas de producción de energía que permitan lograr un desarrollo más sostenible y gozar de una cierta independencia de suministro en un futuro.

Durante décadas se ha investigado acerca de la producción de biocombustibles a partir de cultivos energéticos, encontrando en ellos una fuente de energía alternativa, lo que propició que inicialmente fueran primados. Sin embargo, en la actualidad existe una gran polémica al respecto, ya que la producción de biocombustibles de primera generación entra en competencia con la producción para consumo humano y supone unos importantes impactos ambientales que deben ser tenidos en cuenta. Ante tal situación, es evidente que sólo el uso de biocombustibles de segunda y tercera generación pueden dar respuesta al problema planteado.

Las microalgas representan una alternativa interesante como producción de biocombustibles de segunda generación, gracias a su alto rendimiento fotosintético. Además, no supondrían una competencia por el suelo, ya que pueden ser instaladas en terrenos que no sirvan para otro tipo de producción. Otra ventaja es que existe un mayor control sobre las emisiones producidas desde el suelo y que cuentan con una importante tasa de fijación de CO₂, lo cual supone una interesante vía de mitigación para este tipo de emisiones.

2. Objetivo

En este estudio se plantea la posibilidad de llevar a cabo una producción combinada de biogás y biodiesel mediante la unión de un proceso de digestión anaerobio y otro de producción de biomasa algal.

Para ello se evalúa el comportamiento ambiental de la cada uno de los procesos en los diferentes escenarios considerados:

- Producción de biogás y combustión del mismo en una planta de cogeneración para producción de calor y electricidad y producción de biodiesel a partir de microalgas.

- Producción de biogás y posterior reformado criogénico para su inserción en red y producción de biodiesel.

Los resultados obtenidos serán comparados con la producción de biodiesel a partir de aceites usados y la producción de biodiesel a partir de cultivos energéticos.

3. Metodología utilizada.

Para realizar este estudio se va a utilizar la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), definida por la norma UNE-EN ISO 14.040 como: “una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso, o actividad mediante: la recolección de un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema; la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con esas entradas y salidas; y la interpretación de los resultados de las fases de análisis y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio” (AENOR, 2006).

Esta metodología se desarrolla mediante las etapas de definición de objetivos y alcance, análisis de inventario y evaluación del impacto. De forma transversal se realiza un análisis e interpretación de cada una de las etapas.

Todos los datos para el Inventario del ciclo de vida (ICV) de este caso práctico se extraen de base de datos de Ecoinvent 2010 y de referencias bibliográficas.

La Evaluación del Impacto se realizó utilizando Eco-Indicador 99, método de valoración de puntos finales que permite agrupar en tres categorías de daño: daño a la salud humana medida en años de vida de incapacidad, daño a la Calidad del ecosistema expresados como el porcentaje de especies desaparecidas en un área concreta a causa de la carga medioambiental, y uso de recursos expresado como el incremento de energía necesario para compensar el incremento de dificultad en obtener los mismos recursos (Goedkoop, Effting & Collignon, 2009).

4. Definición del análisis a realizar

Se corresponde con la primera etapa de la metodología ACV seguida. Es fundamental determinar de forma coherente los límites del sistema y las directrices para recoger y evaluar los datos.

En este caso se contemplarán todas las instalaciones principales necesarias para cada proceso así como sus consumos eléctricos.

Como unidad funcional se tomará 1 Kg de biodiesel producido, contabilizando la energía producida por el biogás como energía eléctrica evitada.

5. Inventario del Ciclo de Vida

A continuación se describen cada uno de los escenarios evaluados con los procesos que intervienen. Tanto la producción de biomasa algal como la de biogás es común en ambos escenarios, siendo el tratamiento del biogás el elemento diferenciador.

5.1. Escenario 1

En este escenario se evalúa la producción de biodiesel a partir del cultivo de microalgas en estanque alimentadas con el fertilizante procedente de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos y el CO₂ resultante de la combustión del biogás en una planta de cogeneración.

5.1.1. Producción de biomasa algal

La biomasa algal es una de las fuentes más prometedoras de energía, ya que es renovable y neutral con respecto a las emisiones de CO₂. Las microalgas utilizan la energía solar para convertir el CO₂ en hidratos de carbono, lípidos y proteínas, con una mayor eficiencia por área que las plantas terrestres (Jorquera et al., 2010).

Las microalgas crecen de manera espontánea en ambientes acuáticos y húmedos. Sin embargo pese a su abundancia en la naturaleza, para la producción de biocombustibles en masa se lleva a cabo su cultivo controlado en instalaciones terrestres (Barraza et al., 2009).

La instalación de referencia cuenta con un sistema de cultivo de algas en estanques de alto rendimiento con cubierta de invernadero, seleccionando como alga productora de biomasa la *Chlorella vulgaris* que tiene una tasa de crecimiento de 25 gm⁻² d⁻¹ (Collet et al., 2011) (Lardon et al., 2009). La instalación está formada por 3 estanques de PVC de 1.500 m² (100 x 15 x 0,3 m).

Crecimiento de las microalgas

En el cultivo del alga influyen determinados factores como la luz, la temperatura y los nutrientes. Estas pueden ser optimizadas gracias a la cubierta de invernadero. El agua se renueva totalmente cada dos meses para controlar el desarrollo de la bacteria y para evitar acumulaciones de compuestos tóxicos o inhibidores. Las pérdidas de agua ocurridas en cada cosecha se reponen desde el tanque de mezcla junto con la dosis de fertilizante necesaria para el crecimiento de las algas (Collet et al., 2011).

Tanto los requerimientos de CO₂ como de nitrógeno, fósforo y potasio se calculan en función de la composición del alga. Collet et al., (2011) muestran datos experimentales para *Chlorella vulgaris* en los que se refleja que un kg de alga seca contiene 367 g C, 61 g N, 8,1 g P y 6,59 g K.

La dosis de CO₂ requerida puede ser aportada de diferentes formas según la fuente de dónde provenga a la proporción de 2 kg por kg de alga seca producida. En el caso de obtenerse de una planta de cogeneración se burbujea desde el fondo en sumideros de 1,5 m de profundidad que lograrán una buena difusión en el estanque (Campbell, Beer & Batten, 2009). Si el CO₂ llega a la instalación embotellado, se inyecta a presión mediante difusores situados a 20 cm de profundidad a lo largo del estanque a través de tuberías de PVC, requiriendo una potencia de 22,2 Wh por kg de CO₂ (Lardon et al., 2009) (Collet et al., 2011) (Seambiotic, 2008).

Para suplir las necesidades de fertilizante se ha optado por la aplicación del digerido obtenido en el proceso de producción del biogás de la misma instalación. La digestión anaerobia aporta al digerido una cierta estabilidad mediante la degradación de hasta un 70% de la materia orgánica.

Sin embargo, es necesario tener presente el hecho de que las características del digerido serán variables, estando directamente relacionadas con las entradas del digestor. A pesar de ello, en (Bernal et al., 2011) se concluye que el digerido mostrará por norma general un contenido en materia seca inferior al 13%, lo que les confiere la clasificación de líquidos.

Dado que la composición del digerido varía en función de los sustratos a codigerir se tomará como referencia para este estudio una media de los valores contenidos en el subproducto resultante de la digestión de diversos residuos orgánicos extraídos de (Bernal et al., 2011). (N=331.68g/día, P=100.8g/día, K=42.96g/día).

Estimada la proporción de cada elemento fertilizante en el flujo diario de digerido se calcula que la dosis adecuada para cada estanque es de 6 kg a la hora. Todo el sistema de cultivo estará en constante agitación mediante unas paletas rotatorias, impidiendo la sedimentación de las algas en el estanque y favoreciendo una distribución homogénea de los nutrientes (Tampier, Alabi & Bilbeau, 2009). Estas paletas están formadas por un eje de acero inoxidable y láminas de fibra de vidrio. Su movimiento genera un flujo inestable que supone un flujo horizontal a 20 cm/s y oscilaciones en la superficie en sentido vertical (Ben-Amotz, 2007) (Seambiotic, 2008).

Cosecha

La cosecha de la biomasa se lleva a cabo en tres etapas, lo que permitirá obtener una pasta con una concentración de sólidos del 90% pudiendo ser enviada a un molino para extracción de aceite existente. Esto permite asimilar el proceso de producción de biodiesel al de producción a partir de semillas de soja, existente en Ecoinvent (Lardon et al., 2009).

El primer paso es la sedimentación de 450 m³ de cultivo con una concentración de 0,5 g/litro. Se precisa de un decantador cónico de hormigón con un tiempo de residencia de 2 horas y un consumo eléctrico de 0,1 KWh por m³ bombeado (Collet et al., 2011).

La siguiente etapa es un centrifugado, ya que es el proceso más adecuado para algas tamaño bacteria como *Chlorella. Vulgaris, sp.* Este proceso tiene un consumo de 3.000 KWh por tonelada de masa seca, para lograr una concentración del 18% de sólidos a la salida. Se emplea una centrifugadora de plato de espiral fabricada con 2.000 kg de acero.

Finalmente se bombea la biomasa a una cinta de secado que permite elevar su concentración de sólidos al 90% (Lardon et al., 2009). Este dispositivo tiene un consumo de calor que se estima en 0,4 kWh y 13,8 MJ de calor por cada kg de materia seca procesado (Lardon et al., 2009).

5.1.2. Extracción de biodiesel

La pasta obtenida será trasladada a 100 km de distancia, donde se ubica una planta de producción de biodiesel. Ésta se introduce en un molino de extracción obteniendo como producto aceite crudo y torta agotada, que difieren en gran medida en su contenido energético y de carbono. Como consecuencia, la asignación energética no coincide con la de masa. (Khoo et al., 2011).

Para *Chlorella vulgaris sp.* se acepta un contenido en lípidos del 25 %, por lo que se asume que se obtienen 46,87 kg de lípidos por cada estanque (Khoo et al., 2011) (Lardon et al., 2009).

Una vez obtenido el aceite ha de esterificarse con un alcohol para transformarse en biodiesel. Esta transformación se lleva a cabo en instalaciones industriales que reciben aceite de diferentes orígenes (Lardon et al., 2009).

Se contempla un rendimiento de biodiesel del 90% obteniendo como coproducto un 10% de glicerina que, junto con la torta agotada se envía a codigerir a la planta de producción de biogás.

5.1.3. Planta Biogás

El biogás está compuesto principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), con pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y amoníaco (NH_3). La principal vía de obtención es la digestión anaerobia, ya que cuenta con una gran capacidad para reciclar desechos. Se ha aplicado con éxito en la estabilización de lodos de aguas residuales, la gestión de vertederos y el reciclado de los residuos biológicos y residuos agrícolas como fertilizantes orgánicos (Berglund & Börjesson, 2006).

Sin embargo, el biogás no puede consumirse directamente, ya que la presencia de azufre dañaría los motores y conductos. Por ello, requiere de un acondicionamiento previo que puede ser más o menos intenso, en función de su destino final, pero en cualquier caso, ha de conseguir una desulfuración con una concentración máxima de H_2S de trabajo de 5 ppm.

Además del biogás, del proceso se obtiene un digerido que se utiliza como fertilizante en la producción de las algas y en labores agrícolas, sin embargo, no se le ha considerado ningún valor económico y por tanto, no se le ha hecho asignación de impacto.

La planta de digestión anaerobia contemplada en este proceso tiene capacidad de producción de 280.000 m^3 de biogás al año. Se cuenta, además, con otras dos entradas que son la torta de alga agotada tras la extracción del aceite y glicerina resultante de proceso de producción del biodiesel.

Tabla 1. Carga de residuos introducida al biodigestor y su contenido en SV según (Bernal et al., 2011).

	%SV	Kg/día
Estiércol Vacuno	17,6	19.200
Residuos Matadero	20	1.000
Residuos Lácteos	18	600

La cantidad de torta de alga agotada con la que se cuenta es la producción de 3 estanques de 1.500 m^2 , que supone un total de 84,37 kg/día. En cuanto a la glicerina obtenida del proceso de producción de biodiesel a partir de *Chlorella vulgaris*, sp. sólo se obtienen 4,68 kg, mientras que la dosis adecuada sería de 147,48 kg. La fracción restante se completa con la glicerina obtenida en la planta de biodiesel como coproducto, situada a 100 km del biodigestor.

En cuanto a la entrada de los residuos, ésta se modeliza en el Inventario del Ciclo de Vida como fijación de CO_2 biogénico. Según los valores reflejados en (Álvarez et al., 2010), se estima que se fijan 2,687 kg de CO_2 por cada m^3 de biogás producido. Además, se calcula que los residuos distan de la planta 14 km, por lo que es necesario contabilizar el transporte de los mismos que suponen 0,38 tkm.

Como resultado del proceso de digestión de estos residuos y mejorando su rendimiento con glicerina, se producen 767 m^3 de biogás y 3.015,91 kg de digerido al día.

El digerido tiene un importante valor fertilizante que se aprovecha parcialmente en la producción de microalgas y el resto se destina a uso agrícola. Es necesario aplicar un tratamiento de esterilización con vapor a 3 bares a los residuos.

Las emisiones de metano CH_4 y de CO_2 se producen exclusivamente durante el post-tratamiento aeróbico de la materia digerida. Parte de la descomposición orgánica tiene lugar fuera del digestor. De los estudios se deduce que la descomposición orgánica es del 55% y que, como promedio, el 24% del Carbono se descompone durante el post-compostaje, emitiéndose un 30% como metano y el resto como CO_2 (Schleiss & Edelmann, 2004). Puesto que se generan 2,687 Kg CO_2 por cada m^3 de biogás producido, esto implica que se emiten 0,25 kg de CO_2 y 0,04 kg de CH_4 (Álvarez et al., 2010).

El 12% de la pérdida total de nitrógeno es en forma de amoníaco, que se reduce en un 95%, instalando un biofiltro (Gronauer, Helm & Schön, 1997), pero con ello no desaparecen las emisiones de monóxido de nitrógeno e hidrógeno de sulfuro. También se incorporan las emisiones de amonio, que tienen lugar cuando el agua escurrida se extiende sobre tierras agrícolas. Se contabiliza en 0,625 kg/ m^3 de agua, lo que supone 0,182 g NO, 0,446 g SH y 0,416 g de NH_4 por m^3 de biogás.

De la base de datos Ecoinvent se toma una planta de codigestión de bioresiduos genérica que tiene una vida de 25 años y sus consumos diarios de electricidad y calor ascienden son de 465 MJ y 2.690 MJ respectivamente. Se estima que tiene una ocupación de suelo de 3.000 m^2 que se catalogan como suelo industrial.

5.1.4. Planta Cogeneración

Una de las opciones contempladas es enviar el biogás producido a una planta de cogeneración, pero para ello, es necesario aplicarle un tratamiento previo de desulfuración. Este proceso se basa en un simple lavado que requiere un pequeño consumo eléctrico que se desprecia.

Se toma una planta de cogeneración de Ecoinvent de 160 KWh, cuyo motor da un rendimiento de 32% para la energía eléctrica y de 55% para la generación de calor. Esto supone una producción diaria de energía eléctrica de 4.090 MJ y de 7.030 MJ de calor.

De este proceso se obtienen cada día 633 kg de CO_2 , de los cuales sólo un pequeño porcentaje se aprovecha en el crecimiento del alga. Sin embargo, para una instalación de 3 estanques de 1.500 m^2 cada uno sólo se consume unos 88 kg al día, por lo que el resto del CO_2 ha de considerarse como emisión a la atmósfera.

No obstante, dado que el biogás contiene más elementos a parte del CH_4 y del CO_2 , es necesario contemplar las emisiones de NO_x , CH_4 y otros que aparecen reflejados en la planta de Ecoinvent.

5.2. Escenario 2

En este escenario se evalúa la producción de biodiesel a partir del cultivo de microalgas en estanque alimentadas con el fertilizante procedente de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos. En este caso, el biogás pasa por un reformado criogénico que lo transforma en apto para ser inyectado en la red.

5.2.1. Producción de algas

El cultivo y cosecha de las algas, consta de las mismas etapas que en el escenario 1, con la salvedad de que en este caso, el CO₂ aportado a las algas proviene del reformado criogénico. El CO₂ producido es embotellado y trasladado a los estanques, donde se introduce por inyección mediante difusores distribuidos a lo largo del estanque.

Las etapas de producción del biodiesel y de biogás son idénticas a las descritas en el escenario 1.

5.2.2. Reformado criogénico

El reformado del biogás persigue producir un biocombustible con las características del gas natural, apto para ser inyectado en la red y para su consumo por el transporte. Para ello ha de eliminarse el tanto el CO₂ como el H₂S, elevando así su poder calorífico y evitando la corrosión que produciría en las tuberías de suministro (Jungbluth et al., 2007) y (Persson et al., 2007).

El reformado criogénico se basa en que la licuefacción del CO₂, H₂S y otros contaminantes se produce a diferentes combinaciones de presión y temperatura, permitiendo obtener una gran calidad en la separación de gases, sin embargo, tiene un importante consumo energético (la separación tiene lugar a -100°C y 40 bares).

El proceso requiere de un adsorbente con una vida estimada de 1 año, sin embargo, dado que calcular la cantidad es muy difícil, no se suele contemplar en los ciclos de vida (Álvarez et al., 2010).

La planta, que se toma de la base de datos de Ecoinvent, tiene una vida de 15 años y se estima que debe tratar 280.000 m³ de biogás al año.

En cuanto al CO₂ obtenido como coproducto, no se ha realizado un estudio de la valoración económica del mismo, por lo que se supondrá que no se obtiene ningún valor del mismo, y que su uso es una forma de valorización sin coste. Por lo tanto en la asignación de los impactos ambientales la totalidad se asignarán a la producción de GNS, suponiendo que la producción de CO₂ es neutra en cuanto a impacto ambiental para el proceso.

Se estima que por cada m³ de gas natural obtenido, se producen 0,623 m³ de CO₂ líquido consumiendo 0,505 KWh (Álvarez et al., 2010). De acuerdo con lo indicado anteriormente, el CO₂ resultante del proceso no se considera un residuo. Por lo tanto, los residuos del proceso son únicamente agua y H₂S, 0,001603 m³N y 0,10368 m³N respectivamente por cada m³ de GNS producido.

6. Análisis del Impacto del Ciclo de Vida

Para realizar el Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) de todo el ciclo de vida del proceso se ha empleado como método de evaluación Ecoindicador 99 por ser uno de los indicadores más difundido en la actualidad y que ofrece resultados en efectos sobre la salud de las personas, la calidad de los ecosistemas y el consumo de recursos.

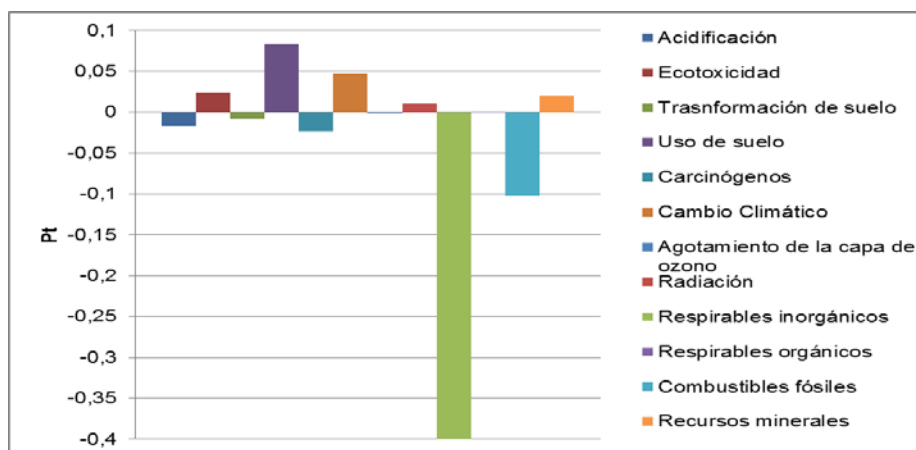
A continuación se muestran los resultados obtenidos con el software GaBi 4.4 con el que se ha realizado el análisis de cada escenario y la comparación entre ambos así como con otros métodos de obtención de biodiesel.

6.1. Escenario 1

En la Figura 1 se representa evaluación del impacto que supone la producción de biodiesel a partir del cultivo de *Chlorella vulgaris* sp. que se alimenta con el digerido obtenido del a producción de biogás y con el CO₂ emitido en el proceso de cogeneración.

Queda de manifiesto cómo en términos generales el proceso es rentable ambientalmente, destacando como principales beneficios el impacto negativo de la categoría de respirables inorgánicos y de combustibles fósiles. Esto se debe al importante sumidero de CO₂ que supone el proceso, ya que por una parte se están tratando residuos, y por lo tanto, se evitan las emisiones que producirían durante su descomposición, y por otra parte, las algas fijan Carbono en su crecimiento.

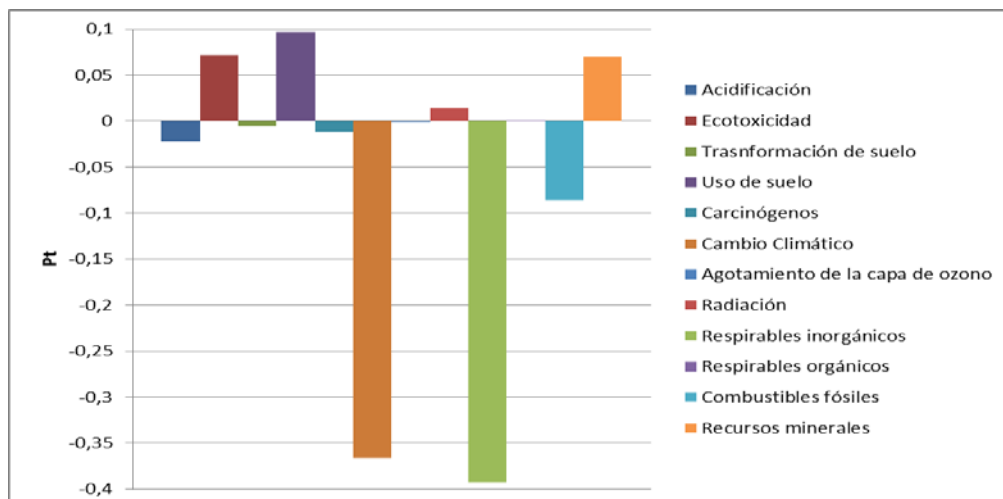
Figura 1. EIA de la producción de biodiesel en el Escenario 1



6.2. Escenario 2

Como en el caso anterior, el escenario 2 muestra buenos resultados ambientales. El proceso de reformado supone una mejora en la categoría de cambio climático debido al control que existe sobre las emisiones, como se comentó anteriormente. Sin embargo, se ha incrementado el impacto de otras categorías como los recursos minerales, consecuencia del impacto que suponen los materiales requeridos para trabajar a tan altas presiones como es el caso de la planta de reformado criogénico.

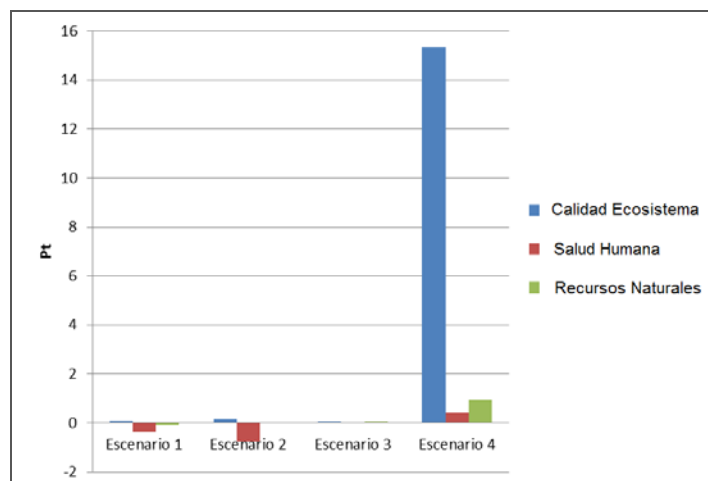
Figura 2. EIA de la producción de biodiesel en el Escenario 2



6.3. Comparación con biodiesel obtenido a partir de aceites usados

A continuación se muestra una comparación entre las distintas alternativas consideradas para la producción de biodiesel. La opción de los biocombustibles de primera generación sale claramente perdedora debido al gran impacto que tiene sobre la calidad del ecosistema, ya que requieren de grandes extensiones de terreno que hacen disminuir la biodiversidad y consumen una importante cantidad de pesticidas y fertilizantes. Sin embargo, la posibilidad de obtener biodiesel a partir de aceites usado es una alternativa interesante, ya que su producción implica la retirada de un residuo y la sustitución de un combustible fósil. La penalización más importante que tiene esta opción se debe a la necesidad del transporte para recogida.

Figura 3. Comparativa de la EIA de las cuatro alternativas en la producción de biodiesel



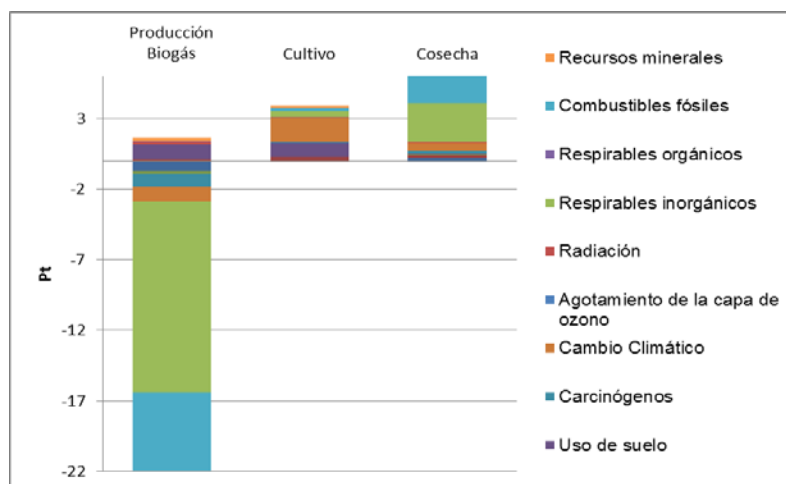
No obstante, aunque el escenario 3 tiene impactos muy pequeños, los escenarios 1 y 2 suponen una alternativa mejor, ya que tiene una puntuación total menor gracias a la categoría de Salud Humana. Es necesario reflejar que la producción de biodiesel realiza una asignación del 10% de los impactos que ocasiona la producción de glicerina, desgravando así el impacto de la producción de biodiesel.

7. Conclusiones

Tras analizar el impacto producido en cada uno de los escenarios y fijándose en la Figura 4 se concluye que aunque la producción de biodiesel a partir de microalgas es rentable en términos ambientales, su idoneidad radica en la producción de biogás y su aprovechamiento energético, y no tanto en la producción de biodiesel.

Además, la Figura 4 permite detectar en qué partes del proceso recae el beneficio ambiental y en cuáles se puede actuar para mejorarlo. Como se puede observar, la producción de biogás es realmente beneficiosa por razones ya comentadas, mientras que la fase de cosecha tiene una puntuación considerable en combustibles fósiles y respirables orgánicos. Esto se debe al importante consumo eléctrico que precisa la fase de cosecha. Podría ser mejorado si se aplican técnicas diferentes para la obtención de la biomasa alga, como el presentado por Origin Oil, que ofrece un sistema integrado de floculación, rotura de la pared celular y extracción de aceite integrado con un bajo consumo de electricidad.

Figura 4. EIA de la producción del biogás y de la biomasa algal



Una vez evaluado dónde se encuentran los puntos débiles se pretende dar respuestas que mejoren el comportamiento ambiental. Así, el escenario 2 saldría más rentable si se considera que todo el CO₂ obtenido en la separación criogénica es utilizado en los estanques. Esto requiere que se produzca un aumento en el número de estanques, hasta 7, para lograr fijar todo el C₂ emitido en la fase del reformado. En este caso, no existiría limitación de sitio, ya que al tratarse de CO₂ embotellado es fácilmente transportable.

Como conclusión final se puede decir que, dado que la verdadera ventaja ambiental del sistema le corresponde a la producción del biogás, quizás sería adecuado quedarse solamente con la fase producción de biogás a la espera de que la tecnología de producción de biodiesel a partir de algas mejore su eficiencia.

8. Referencias

- AENOR (2006). ISO14040 Gestión Ambiental. Analisis del Ciclo de Vida. Principios y Marco de referencia. ISO14044 Gestión Ambiental. Analisis del Ciclo de Vida. Requerimientos.
- Álvarez, J.V., Luiña, R., Álvarez, I., & Domínguez, A. (2010). Valoración ambiental de la inserción de biogás en redes de gas natural. Universidad de Oviedo y Grupo BFC.

- Barraza, C., Collao, V., Espinoza, C., Moya, F., Thun, G., & Torres, M. (2009). Producción de biodiesel a partir de microalgas. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Bioquímica.
- Ben-Amotz, B. (2007). Large scale open algae ponds. The National Institute of Oceanography, Nature Beta Technologies Ltd, Nikken Sohonsa Co (Japan) and Seambiotic Ltd.
- Berglund, M., & Börjesson, P. (2006). Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 30, 254-266.
- Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., Bustamante, M.A., & Clemente, R. (2011). Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización. Probiogás PSE.
- Campbell, P.K., Beer, T., & Batten, D. (2009). Greenhouse gas sequestration by algae-energy and greenhouse gas life cycle studies. Transport Biofuels Stream, CSIRO Energy Transformed Flagship.
- Collet, P., Hélias, A., Lardon, L., Ras, M., Goy, R.A., & Steyer, J.P. (2011). Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production. *Bioresource Technology*, 102, 207-214.
- Goedkoop, M., Effting, S., & Collignon, M. (2009). Anexo Eco-indicador'99. Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del Ciclo de Vida. Manual para diseñadores. PRé Consultants. IHOBE, Sociedad Pública Gestión Ambiental.
- Gronauer A., Helm M., & Schön H. (1997). Verfahren und Konzepte der Biofaballkompostierung. Vergleich - Bewertung - Empfehlung. Bayrische Landesanstalt für Landtechnik der TU München-Weihenstephan.
- Jorquera, O., Kiperstok, A., Sales, E.A., Embiruçu, M., & Ghirardi, M.L. (2010). Comparative energy life-cycle analyses of microalgal biomass production in open ponds and photobioreactors. *Bioresource Technology* 10, 1406-1413.
- Jungbluth, N., Faist, M., Dinkel, F., Stettler, C., Doka, G., Chudacoff, M., Dauriat, A., Gnansounou, E., Spielmann, M., Sutter, J., Kljun, N., Keller, M., & Schleiss, K. (2007). Life cycle inventories of bioenergy. Ecoinvent report No 17.
- Khoo, H.H., Sharratt, P.N., Das, P., Balasubramanian, R.K., Naraharisetti, P.K., & Shaik, S. (2011). Life cycle energy and CO₂ analysis of microalgae-to-biodiesel: Preliminary results and comparisons. *Bioresource Technology*, 102, 5800-5807.
- Lardon, A., Hélias, A., Sialve, B., Steyer, J.P., & Bernand, O. (2009). Life-cycle Assessment of biodiesel production from microalgae. Policy Analysis.
- Persson, M., Wellinger, A., Rebnlund, B., & Rabm, L. (2007). Report on Technological Applicability of Existing Biogas Upgrading Processes. BIOGASMAX – Integrated Project No 019795.
- Schleiss, K., & Edelmann, W. (2004). Stromproduktion aus der Feststoff-Vergärung. Bundesamt für Energie und Biogasforum Schweiz, Baar: ENET.
- Seambiotic Ltd. 2008. Algae Pilot Plant. Ashkelon, Israel.
- Tampier, M., Alabi, A.O., & Bibeau, E. (2009). Microalgae technologies & processes for biofuels/ bioenergy production in british Columbia: Current technology, suitability & barriers to implementation. The British Columbia Innovation Council.

Correspondencia (Para más información contacte con):

José Valeriano Álvarez Cabal

Área de Proyectos. Universidad de Oviedo

Oviedo

E-mail: valer@api.uniovi.es