

“Modelo de Producción de Biodiesel a partir de Algas en Argentina”

“Model of Algae Biodiesel Production in Argentina”

- Fernando Navarrete – Estudiante de UADE (Universidad Argentina de la Empresa) – Ingeniería en Alimentos. jnavarretemonge@uade.edu.ar, nando354@gmail.com (Autor).
- Adrián Demarco – Estudiante de UADE (Universidad Argentina de la Empresa) – Ingeniería Industrial. demarcoadrian@hotmail.com, ademarco@uade.edu.ar (Autor).
- Ing. Edgard Hernán Maimbil – Docente investigador UADE (Universidad Argentina de la Empresa) – Tutor Tesis de Grado – Ingeniería Informática. edmaimbil@uade.edu.ar, tinymaimbil@gmail.com (Tutor).
- Ing. Nahuel Hernán S. Romera – Docente investigador UADE (Universidad Argentina de la Empresa) – Co Tutor Tesis de Grado – Ingeniería Informática. nahuel.romera@gmail.com (Co tutor).

RESUMEN

La Argentina se encuentra ante un crecimiento importante en los últimos años en materia de biocombustibles, en especial de biodiesel. Tanto es así que la ley 26.093, sancionada en el año 2006, estableció que a todo combustible que se comercialice en territorio argentino debe incorporarse un porcentaje de biocombustible.

El biodiesel puede producirse a partir de diversos oleaginosos como la soja o el maíz, pero también puede producirse a partir del aceite extraído de micro algas, cuyo papel en el actual modelo energético motivó al desarrollo de este estudio.

El biodiesel en la Argentina se obtiene en su mayoría a partir de la semilla de soja, lo cual implica que muchos sectores agrícolas y económicos se ven afectados por el uso en grandes cantidades de esta semilla. La producción de biodiesel a partir de algas es una oportunidad para ingresar a competir en el mercado del biodiesel.

Las algas son de rápido crecimiento y una buena productividad de aceite y la ventaja imbatible es que no entran en conflicto por las tierras agrícolas y no tiene conflictos con las normas sobre el uso de alimentos para la producción de biocombustibles. La posibilidad de cultivar estas algas en piletas al aire libre, con diferentes condiciones hídricas, elimina la necesidad de tierra cultivable de los oleaginosos.

Como principales desafíos a la explotación de algas para producción de combustibles se encuentra la falta de conocimientos respecto a estirpes o variedades de algas de alto rendimiento, así como una estructura de costos no muy atractiva para inversiones de explotación a gran escala.

Las barreras tecnológicas también representan un problema, pero varias empresas argentinas han tomado la iniciativa en este tipo de recurso y han desarrollado técnicas que contribuyen a mejorar la productividad, llegando incluso a la fabricación de máquinas “llave en mano” para producción de biodiesel de algas a nivel PyME.

El presente trabajo consiste en la realización de un modelo de simulación de la producción actual de biodiesel a partir de algas en la Argentina. Este modelo se basa en la Dinámica de Sistemas, disciplina que permite el análisis de sistemas complejos de subsistemas interrelacionados, donde la realimentación de información cumple un papel fundamental. Utilizando datos técnicos e información oficial del mercado energético del país se pueden construir escenarios que permiten evaluar el futuro de la actividad.

Palabras Clave: Biodiesel - Producción – Micro algas – Oleaginosos – Estirpes – Dinámica de Sistemas – Modelo de simulación

ABSTRACT

Argentina has experienced these last years an important grow in biofuels, specially biodiesel. So it is that law 26.093, which was sanctioned in 2006, established that every fuel commercialized in argentinian territory must incorporate a percentage of biofuel.

Biodiesel can be produced with a variety of oleaginous like soy or corn, but also can be produced with oil obtained from micro algae, whose paper in the country's energetic model impulsed the development of this study.

Biodiesel in Argentina is obtained mostly from soy seeds, which involves many agricultural and economic sectors affected by the use of large amounts of this seed. Algae biodiesel production is a chance to join and rival in biodiesel market.

Algae are species of fast grow and a good oil productivity and its best advantage is that it's working doesn't generate conflicts with agricultural lands neither normatives related to biofuels made from food. The possibility to grow algae in outdoors pools with different water conditions, eliminates oleaginous' need of cultivable land.

The main challenges to algae exploit for biodiesel production is the lack of knowledge regarding algae lineage or species of high oil performance, and also cost structures unattractive for potential investors.

Technologic barriers also mean a problem, but some argentinian companies have taken the lead in this type of resource and have developed techniques to increase productivity, even creating turnkey machines to produce biodiesel in a PyMEL (“Small and Medium Size Enterprises”) level.

This work consist in the creation of a simulation model of algae biodiesel production in Argentina. This model will be based in System Dynamics, discipline which allows the study of complex systems of interrelated subsystems, where information flow fulfills an important role. Using technical data and official information from the market, scenarys can be made to evaluate the future of this activity.

Key words: Biodiesel - Production – Micro algae – Oleaginous – Varieties – Systems Dinamic – Simulation model

1. Modelo de Producción de Biodiesel a partir de Algas

El proceso de obtención de biodiesel a partir de algas comienza con el cultivo de las mismas en estanques y lagos artificiales. Este método se conoce como “sistema abierto” y es el más utilizado a nivel mundial. Otros métodos son instalaciones de estanques dentro de invernaderos, y la utilización de fotobiorreactores, de un alto rendimiento pero costos elevados.

Las algas luego son sometidas a estrés ambiental con el objetivo de maximizar su acumulación de lípidos. Esto se logra mediante reducir el nivel de nitrógeno que reciben las algas, o modificar la temperatura, pH del medio acuoso, entre otras.

El siguiente paso es la extracción del aceite. Se retira las algas de su medio de cultivo y se obtiene su aceite mediante el uso de prensas, solventes, enzimas, entre otros métodos. El aceite obtenido debe pasar por un proceso de transesterificación, que consiste en la utilización de un catalizador mediante el cual la composición química del aceite cambia y se torna menos viscoso, logrando obtener el biodiesel.

El modelo de simulación computacional incorpora las variables que intervienen en este proceso, además de los ciclos de comercialización y costos derivados de la actividad.

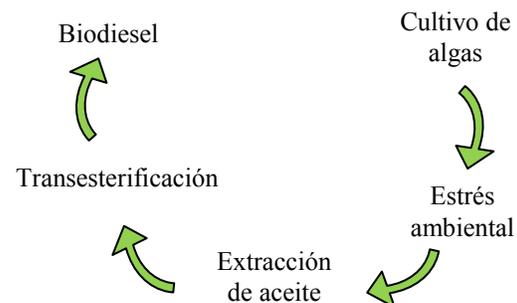


Fig.1 Ciclo del proceso de producción de biodiesel a partir de algas

2. Módulo de Biomasa

Analizando los estudios de algunas especies de Algas en los cuales podemos comparar la diferencia en el cultivo, crecimiento y obtención de biomasa. Con las variables mencionadas y por medio de la dinámica de sistemas iniciamos el modelo.

El módulo de biomasa traza los pasos para la obtención de la materia prima para el ingreso a la elaboración de biodiesel y como la disponibilidad de **instalaciones destinadas al cultivo** adecuadas limita la escala del mercado productivo. La **especie de alga** interviniente es determinante en cuanto a las características del cultivo y del tiempo que requerirá para convertirse en la **biomasa obtenida** del proceso.

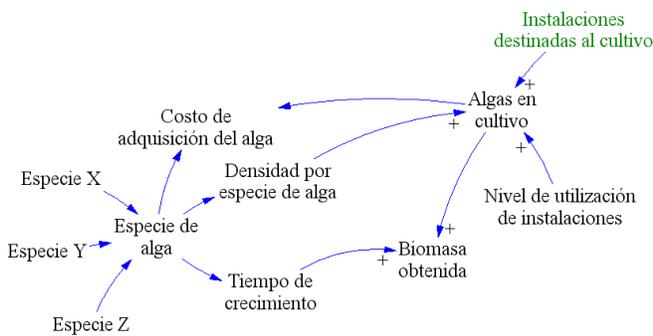


Fig.2 Esquema del módulo de biomasa

3. Módulo de Biodiesel

Este modulo abarca las variables que permiten definir los pasos para la obtención del Biodiesel.

Estas variables incluyen los diferentes **métodos de extracción del aceite** y la **transesterificación** del mismo. El **biodiesel producido** por el modelo dependerá también del **catalizador** utilizado

Se incorpora a su vez la obtención de la **materia orgánica** remanente del proceso, la cual es considerada como un subproducto utilizado en la industria alimenticia.

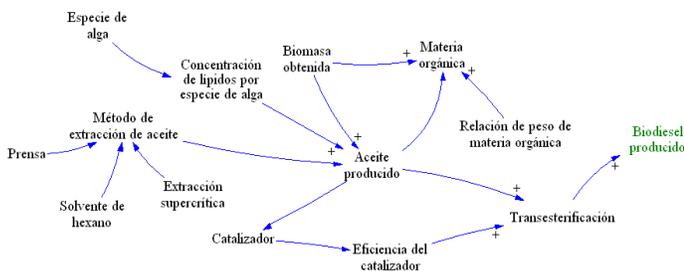


Fig.3 Esquema del módulo de biodiesel

Módulo de Ventas y Demanda.

Actualmente el biodiesel de algas no se ha considerado como una opción de compra en el mercado regular de combustibles. Tomando en cuenta la expansión de la demanda de biocombustible de los países para llegar a sus objetivos ambientales, la vigencia de políticas promocionales y aumento en los incentivos fiscales, el modelo evalúa la viabilidad de la venta del biodiesel de acuerdo a un **consumo efectivo** partiendo de un **consumo inicial** vinculado a las normativas de incorporación de biocombustibles a los combustibles fósiles, con un **incremento deseado en el consumo** relacionado con futuras expansiones del mercado.

También se incluye en la estructura de comercialización las **ventas de materia orgánica** remanente de los procesos que conllevan la obtención del biodiesel, que significan una fuente extra de ingresos al modelo.

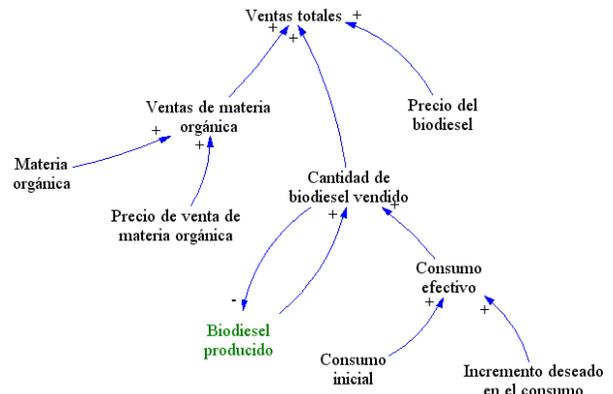


Fig.4 Esquema del módulo de ventas y demanda

4. Módulo de Reversión.

Las **utilidades** producidas alcanzadas perioro a periodo incrementan la **ganancia neta** de la industria, la cual influirá en la decisión de reinvertir en el cultivo de algas, pero tal decisión debe basarse en un criterio que asegure procesos productivos eficientes, rentables y sostenibles en el tiempo.

Las **instalaciones destinadas al cultivo** tienen que incrementarse cuando la producción máxima no sea suficiente para satisfacer el consumo esperado. Para lograr esto el modelo evalúa cómo se relacionan variables de los módulos previamente abordados. La **variable informe** impulsa una inversión cuando el **consumo efectivo** es superior al **biodiesel producido** por la

industria. En este caso se calcula una **re inversión en instalaciones de cultivo** tomando como referencia el **rendimiento de las instalaciones** en cuanto a los litros de biodiesel que se obtienen de una determinada masa de algas, todo esto sin desestimar la influencia de los **costos de nuevas instalaciones de cultivo**.

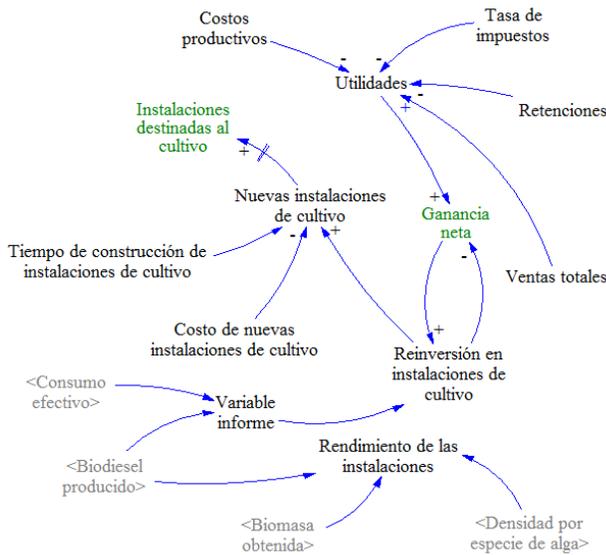


Fig.5 Esquema del módulo de reinversión

5. Módulo de Costos

Esta es una de las partes más importantes del análisis puesto que la evolución de los costos es vital para determinar la rentabilidad del modelo.

Los distintos costos que intervienen en el módulo son los relacionados con las dos etapas productivas diferenciadas: los **costos del proceso de biomasa**, donde se enumeran los costos relacionados con las instalaciones destinadas al cultivo y el **costo de adquisición del alga**; y los **costos del proceso de biodiesel**, que incluye el **costo del método de extracción del aceite** y el **costo del catalizador** elegido. La estructura de estos costos debe mostrar un escenario favorable para competir en el mercado con los biocombustibles tradicionales.

El **costo de mano de obra** también es tenido en cuenta en el modelo de simulación.

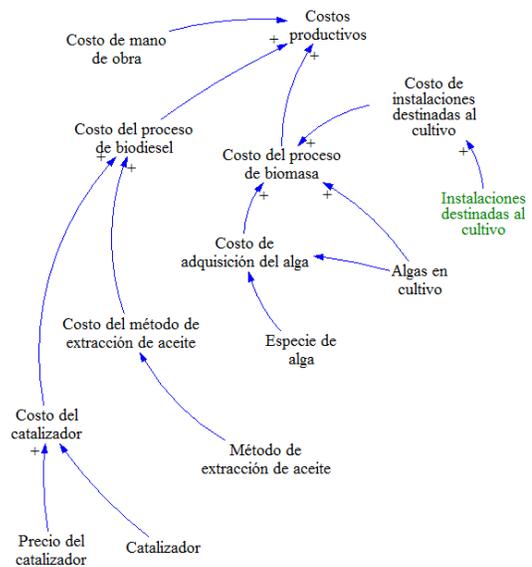


Fig.6 Esquema del módulo de costos

6. Simulación y resultados

El modelo final de simulación fue evaluado en una serie de escenarios. La primera evaluación del modelo es su perspectiva a 5 años en condiciones normales. Se observa que, con la especie actualmente cultivada y el método actual de obtención de aceite, sin incrementos en el consumo, y ajustando la reinversión en invernaderos solo a las cantidades necesarias para suplir el consumo, el mercado tiene un marcado crecimiento.

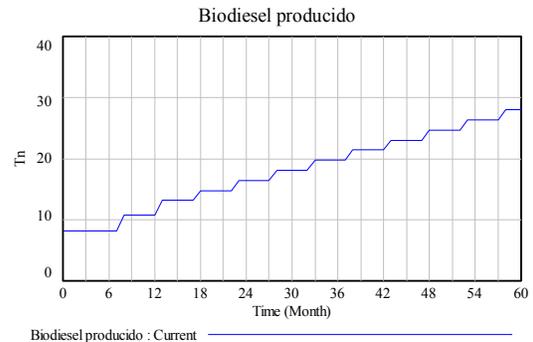


Fig.7 Biodiesel producido del caso base

La producción de biodiesel de algas por mes pasa de 8,22 Tn a 44,4 Tn para fines del quinto año, dando una ganancia neta de \$110 millones, y con costos que no llegan a superar los \$35.000 mensuales. El espacio ocupado por los invernaderos llega a las 3,4 hectáreas, con lo que se demuestra cuán eficiente es el uso del suelo mediante el cultivo de algas en lugar de otros

oleaginosos más comúnmente sembrados en Argentina.

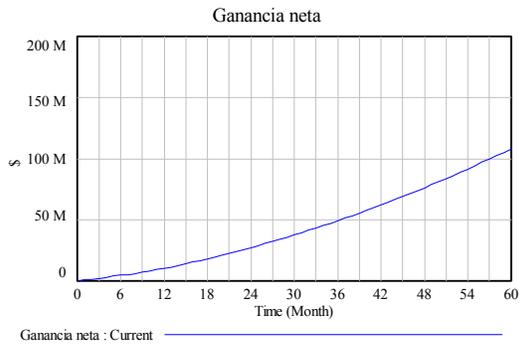


Fig.8 Ganancia neta del caso base

El primer ensayo sobre el modelo fue verificar cuán influyente es la comercialización de la materia orgánica remanente de la extracción del aceite sobre la ganancia neta, para lo cual la eliminamos del cálculo. El resultado fue una abrupta caída de las ganancias, que no superan los \$790.000 hacia el final del intervalo simulado. Menores ingresos redundan en menor inversión, y por ende menor producción de biodiesel. En definitiva, las ganancias por ventas de materia orgánica son mucho mayores que las obtenidas por venta de biodiesel, por lo que verdadera industria rentable es la de proteínas de microalgas, siendo el aceite y sus posibles usos como combustible el subproducto de esta industria, y no a la inversa como se consideró al plantear el modelo.

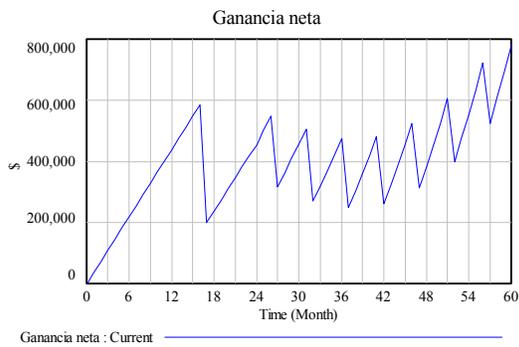


Fig.9 Ganancia neta sin ventas de materia orgánica

De no comercializar las proteínas de microalgas, si bien las ganancias son menores, en ningún momento son negativas, por lo que el negocio nunca deja de ser rentable, a diferencia de lo que afirman muchas investigaciones sobre el tema. Esto es debido a la estructura de costos que se maneja en la industria local, producto de los avances técnicos desarrollados en el país.

Seguidamente se evaluó la utilización de otros métodos de extracción de aceite, fijando la especie actualmente cultivada (*Spirulina*). Tras simular los tres métodos programados en el modelo, se observa una diferencia de entre 2 y 3 Tn/mes entre cada método. El método supercrítico logra una ventaja de \$60.000 sobre los otros métodos en el último periodo, pero como sus costos son elevados, no existen mayores ventajas económicas a nivel general en la elección de uno u otro método. Si se desea lograr un máximo de producción, el método supercrítico es el indicado, aunque se deberían evaluar otros aspectos además de la rentabilidad económica del método en sí para determinar si es factible su uso en el país.

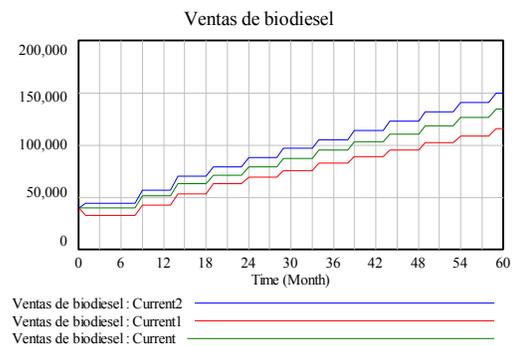
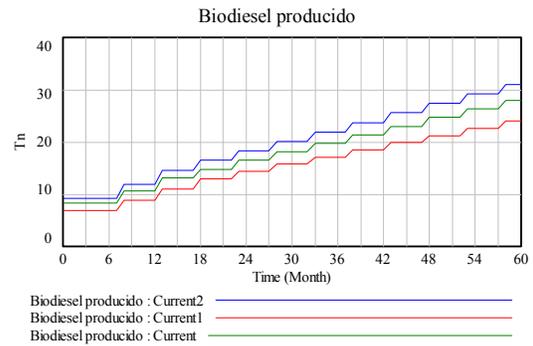


Fig.10 y Fig. 11 Biodiesel producido ventas de biodiesel con distintos métodos de extracción de aceite. (Rojo: Prensa – Verde: Solvente de hexano – Azul: Extracción supercrítica)

La siguiente serie de escenarios a evaluar es la utilización de diferentes especies de algas. Para esto se realizó una corrida con cada una de las tres especies programadas, sin alterar ninguna otra variable. Como resultado se observa que la especie con mayor porcentaje de composición de lípidos (*Dunaliella salina*) proporciona el mayor nivel de producción de biodiesel, pero la de mayor composición de proteínas (*Spirulina*) es la que más ganancias aporta. Por lo tanto la rentabilidad del negocio será mayor cuanto más materia orgánica pueda obtenerse del alga. Sin embargo, la finalidad de la industria es de producir la mayor cantidad de biodiesel para reemplazar los

combustibles fósiles y aportar con energía renovable al sistema, por lo que la especie más favorecida será aquella con la mayor concentración de lípidos, independientemente de cuanto mayor sean las ganancias si se cultiva un alga de alto contenido proteico, pero poco aceite extraíble.

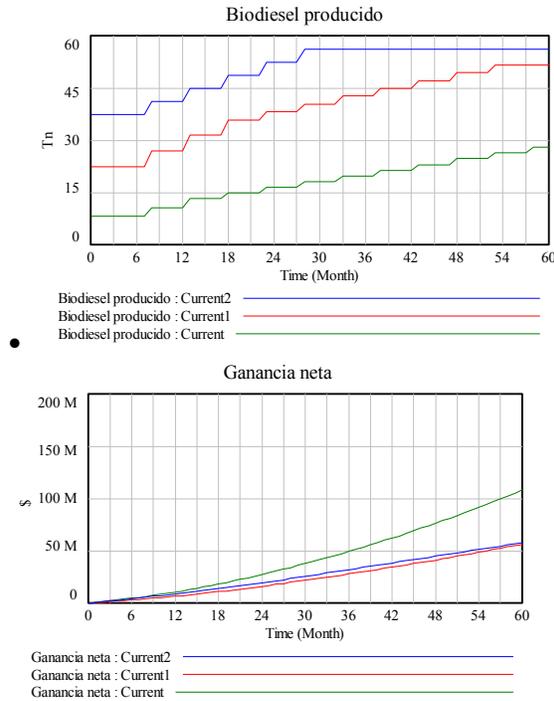


Fig.12 y Fig. 13 Biodiesel producido y ganancia neta con distintas especies de alga. (Rojo: *Chlorella vulgaris* – Verde: *Spirulina* – Azul: *Dunaliella salina*)

Finalmente se simularon escenarios en los cuales se puede incrementar el número de invernaderos a construir por proyecto de inversión. Se realizó una corrida fijando esa cantidad en 1, luego una corrida con 5 invernaderos, una corrida con 10, otra con 15 y una con 20. El resultado fue un crecimiento exponencial cuanto mayor era el número de invernaderos fijados. Bajo una estructura de costos similares a la simulada, y logrando siempre el aprovechamiento económico del material orgánico, la producción de biodiesel será más rentable cuanto más invernaderos para cultivo de algas sean construidos. Se debe tener en cuenta que el máximo de instalaciones a construir por proyecto nunca supere el capital generado por la misma industria para que no ocurra un retraso en el tiempo de inversión, y como consecuencia la cantidad realmente construida sea menor. Tampoco es aconsejable que el mínimo de inversión sea tan bajo que se desaprovechen oportunidades de crecimiento. Si estos factores son tenidos en cuenta, lo que necesita la industria de biodiesel de algas es mayor escala, construir

muchos más invernaderos de este tipo para maximizar la producción y ocupar un mayor lugar en el mercado de los biocombustibles de nuestro país.

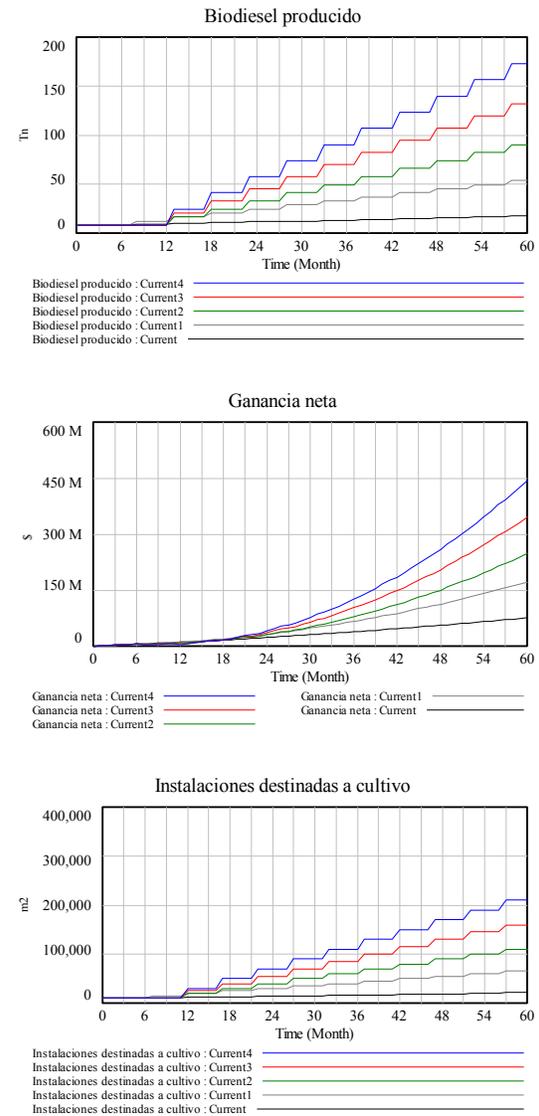


Fig.14, Fig. 15 y Fig. 16 Biodiesel producido, ganancia neta e instalaciones destinadas a cultivo con distintas cantidades de invernaderos a construir por proyecto. (Negro: 1 – Gris: 5 – Verde: 10 – Rojo: 15 – Azul: 20)

7. Conclusiones

El estudio de la industria argentina del biodiesel a partir de algas mediante este modelo de simulación, basado en la Dinámica de Sistemas, no tiene por objetivo la predicción absoluta del comportamiento del mercado en el futuro cercano. El abordaje del tema ha sido desde un punto de vista orientativo respecto a las posibilidades de crecimiento de la industria en el país entendiendo cómo se comportan las variables principales de acuerdo a los escenarios ensayados. Este

conocimiento contribuye a la investigación de soluciones a los desafíos que presenta el cultivar algas como fuente de combustible, como los costos de inversión en instalaciones a gran escala y selección de una variedad de algas idónea a las condiciones de nuestro medio ambiente. Lográndose tales soluciones y aprovechando al máximo los amplios beneficios que ofrecen, como su elevado rendimiento y su capacidad de adaptación a diferentes condiciones de cultivo, las algas pueden llegar a posicionarse al nivel de otras fuentes de biodiesel explotadas en la Argentina.



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



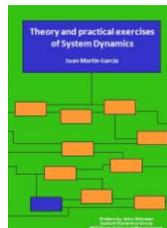
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)