

LA BIOECONOMIA, LAS BIOREFINERÍAS Y LAS OPCIONES REALES: EL CASO DEL BIOETANOL Y EL AZÚCAR

REAL OPTIONS, BIOREFINERIES AND BIOECONOMY: THE CASE OF BIOETHANOL AND SUGAR

José de J. **Brambila-Paz***, Miguel Á. **Martínez-Damián**, María M. **Rojas-Rojas**, Verónica **Pérez-Cerecedo**

Colegio de Postgraduados. Km. 36.5, Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México, México. (jbrambilaa@colpos.mx).

RESUMEN

Los productos de la bioeconomía que usan materia prima de primera generación tienen un escenario inestable en el precio relativo entre el producto genérico y el diferenciado. Es el caso entre los precios del azúcar y del bioetanol, ambos obtenidos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). El objetivo del presente estudio fue evaluar si un proyecto polivalente que produce azúcar y bioetanol tiene la probabilidad de que en el tiempo el capital valga más que si se hubiera depositado en el banco (costo de oportunidad del capital) en comparación con un proyecto monovalente (producir azúcar o producir bioetanol). La ecuación de Bellman, el movimiento Browniano y el Lema de Ito se emplearon en la determinación de valores críticos y las ecuaciones de Black-Scholes y Merton para la estimación de las opciones reales. El análisis de los resultados muestra que un proyecto polivalente (1.95) es preferible a un proyecto monovalente (azúcar:2.19; bioetanol:1.99) en escenarios de precios inestables ya que el valor crítico es menor. Cuando se tiene la opción real de producir azúcar a bioetanol o viceversa, el valor de la opción real del proyecto aumenta en 6 millones de dólares. Se concluye que una biorefinería que usa materia prima de primera generación como la caña de azúcar debe ser flexible para cambiar los montos de su producción, ya sea azúcar a bioetanol o viceversa.

Palabras clave: bioetanol, polivalente, valor crítico y bio-based-economy.

INTRODUCCIÓN

El concepto de bioeconomía se usa de varias maneras y algunos economistas llevan sus orígenes hasta Alfred Marshall (1842-1924)

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2012. Aprobado: febrero, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 281-292. 2013.

ABSTRACT

Bioeconomy products that employ first-generation raw material face an unstable relative price scenario between the generic and the differential product. This is the case between sugar and ethanol prices, both obtained from sugarcane (*Saccharum officinarum*). The aim of this study was to assess whether a multipurpose project that produces sugar and bioethanol has the probability that over time capital is worth more than if it had been deposited in the bank (capital opportunity cost) compared with a single-purpose project (sugar or bioethanol production alone). The Bellman equation, Brownian motion and Ito's lemma are used in the determination of critical values and the Black-Scholes and Merton equations for the real options estimation. The analysis of the results shows that a multipurpose project (1.95) is preferable to a project single-purpose (sugar: 2.19; bioethanol: 1.99) in unstable price scenarios because the critical value is lowest. When confronting the real option of producing sugar to bioethanol or vice versa, the real option value of the project increases by \$6 million dollars. It is concluded that a bio-refinery that uses first-generation raw material such as sugarcane must be flexible to change the amounts of its production, whether sugar to bioethanol or vice versa.

Key words: bioethanol, multipurpose, critical value and bio-based economy

INTRODUCTION

The bioeconomy concept is used in various ways; some economists draw its origin up to Alfred Marshall (1842-1924) who wrote "the goal of the economist lies in economic biology rather than in dynamics" (Martínez, 1985^[1]). Colin (1973) and Becker (1976, 1977) use the term bioeconomy to identify the area of economics that studies

quien escribió “la meta del economista se halla en la biología económica más bien que en la dinámica” (Martínez, 1985^[1]). Colin (1973) y Becker (1976, 1977) usan el término de bioeconomía para identificar el área de la economía que estudia la explotación económica de los recursos renovables y también para explicar en términos económicos ciertos comportamientos sociales. En 1999 se publica el Journal of Bioeconomics para intercambiar conocimientos entre la economía, la biología y ramas afines. En el 2004, Jack Hirshleifer y Paul J. Zak explicaron la forma en que el cerebro humano toma decisiones económicas de función de riesgo y premio. Según Hardy (2002), se inicia la idea de una bioeconomía en sustitución de la petroeconomía, la formación de una economía basada en la biología, y el concepto adquiere un significado más completo.

La Conferencia para el Comercio y Desarrollo de las Naciones Unidas (UNCTAD) (Calestous y Konde, 2001), la organización para la Cooperación y Desarrollo económico (OCDE, 2005) y la Casa Blanca en el gobierno de Barak Obama con su National Bioeconomy Blueprint (Obama, 2012), usan el término bioeconomía para referirse a la economía basada en la biología, aunque las definiciones son diferentes. Para una reseña del uso del concepto de bioeconomía, consultar a Brambila, 2012, Bioeconomía: Conceptos y Fundamentos, Capítulo V. Por lo anterior, en este artículo se propone una definición de la economía basada en la biología (bio-based-economy, bioeconomía).

La bioeconomía conlleva la oferta de nuevos productos y tecnologías por lo cual los precios de los nuevos productos como los genéricos (commodities) son más volátiles y su producción se hace más riesgosa. Por ello se organizan biorefinerías, industrias que convierten la biomasa en múltiples productos de acuerdo con los cambios de precios. Por ejemplo, de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) se obtiene azúcar, etanol, alcoholes, químicos, gas, electricidad y alimento para ganado. La biorefinería debe ser polivalente y de acuerdo con los precios se decide cuanto producir de cada uno. También se forman biorefinerías polivalentes en la materia prima; por ejemplo, para obtener etanol la misma biorefinería debe procesar caña de azúcar, maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum vulgare*), remolacha (*Beta vulgaris*), lignocelulosa,

renewable resources economic exploitation and also to explain certain social behaviors in economic terms. To exchange knowledge between economics, biology and related fields, in 1999 the Journal of Bioeconomics is published. In 2004, Jack Hirshleifer and Paul J. Zak explained how the human brain makes economic choices depending on reward and risk. According to Hardy (2002), the bioeconomy idea began by substituting that of an oil-economy, a biologically based buildup economy, and the concept takes on a fuller meaning.

The United Nations Conference for Trade and Development (UNCTAD) (Calestous and Konde, 2001), the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 2005) and the White House in the Obama administration with his National Bioeconomy Blueprint (Obama, 2012), use the term bioeconomy to refer to biological based economy, although the definitions are different. For a review of the use of the bioeconomy concept, refer to Brambila, 2012, Bioeconomy: Concepts and Fundamentals, Chapter V. Therefore, in this study a definition of the economy based on biology (bio-based-economy, bioeconomy) is proposed.

Bioeconomy entails the supply of new products and technologies reason by which prices of new products such as generics (commodities) are more volatile while their production becomes more risky. Therefore biorefineries are engineered, industries capable of converting biomass into multiple products in accordance to price changes. For example, sugar cane (*Saccharum officinarum*) yields sugar, ethanol, alcohols, chemicals, gas, electricity and cattle feed. The biorefinery should be polyvalent and according to the prices it is decided how much to produce of each one. Polyvalent biorefineries are also formed in raw materials; for example to obtain ethanol, the same biorefinery must process sugarcane, corn (*Zea mays*), sorghum (*Sorghum vulgare*), beet (*Beta vulgaris*), lignocellulose, jatropha (*Jatropha curcas*), algae (*Chlorophyta*) and others (National Renewable Energy Laboratory, 2011; Aresta, 2012; Bonomi, 2012). In this context, the present article uses the concept of bioeconomy and biorefinery, and tries to show that a polyvalent refinery is less risky and more profitable than a monovalent mill.

¹ Martínez, J. 1985. Bioeconomía. Tesis doctoral de la Universidad de Málaga, España.

jatrofa (*Jatropha curcas*), algas (*Chlorophyta*) y otros (National Renewable Energy Laboratory, 2011; Aresta, 2012; Bonomi, 2012). En este contexto, en el presente artículo se usa el concepto de bioeconomía y biorefinería, y se trata de mostrar que una biorefinería polivalente es menos riesgosa y más rentable que un ingenio monovalente.

Los productos de la bioeconomía como biocombustibles, bioplásticos, materiales bioquímicos, biomateriales, se pueden derivar de un producto genérico convencional como maíz, caña de azúcar, papa (*Solanum tuberosum*), soya (*Glycine max*), nopal (*Opuntia* spp.) y éstos se conocen como materia prima de primera generación (1g). También se pueden derivar de otros productos de menor uso como cassava (*Manihot esculenta*), pitahaya (*Hylocereus triangularis*), o de productos marginales como switchgrass (*Panicum virgatum*), jatrofa (*Jatropha curcas*), algas marinas, desperdicios orgánicos (basura municipal). Estos productos de menor uso se conocen como materia prima de segunda generación (2g) (Brambila, 2011a). Los productos de bioeconomía obtenidos con 1g que compiten con los alimentos, se enfrentan con el problema de que si el precio del producto genérico sube puede ser más rentable seguir produciéndolo en lugar de procesar uno o varios productos de la bioeconomía (Brambila, 2011a). Éste es el caso de la caña de azúcar usada como materia prima para producir azúcar (producto genérico) y bioetanol (producto de la bioeconomía o diferenciado).

La inestabilidad de los cambios del precio relativo entre el precio del azúcar (producto genérico) y del bioetanol (producto diferenciado) se observa en la Figura 1. Cuando el cambio del precio es positivo conviene producir bioetanol y si es negativo conviene producir azúcar. O bien se puede crear un portafolio que permita producir ambos productos para que la ganancia sea mayor.

Así, las biorefinerías modernas deben ser suficientemente flexibles para ajustarse rápidamente a los cambios de precios. En México, se instalan biorefinerías monovalentes (producen azúcar o producen bioetanol), que son menos rentables al no poder ajustar un cambio relativo de precio. Bajo el enfoque de valores críticos y opciones reales, el objetivo del presente estudio es mostrar que un proyecto polivalente (produce azúcar o bioetanol) tiene la probabilidad de que en el tiempo el capital valga más

Bioeconomy products such as biofuels, bioplastics, biochemical materials, biomaterials, may be derived from a conventional generic product like corn, sugarcane, potato (*Solanum tuberosum*), soybean (*Glycine max*), nopal (*Opuntia* spp.) and these are known as first-generation raw material (1g). Also they can be derived from other products of lesser use such as cassava (*Manihot esculenta*), pitahaya (*Hylocereus triangularis*), or from marginal product as switchgrass (*Panicum virgatum*), jatropha (*Jatropha curcas*), seaweed, or organic waste (county waste). These products of less use are known as second-generation (2g) raw material (Brambila, 2011a). Bioeconomy products obtained from 1g that compete with food face the problem that if a generic product price rises it would be more profitable to continue producing it instead of processing one or more bio-economy products (Brambila, 2011a). This is the case of sugarcane which is used as feedstock to produce sugar (generic product) and bioethanol (bioeconomy or differentiated product).

The instability of the relative price changes between the price of sugar (generic product) and bioethanol (differentiated product), is observed in Figure 1. When the price change is positive it pays to produce bioethanol and when it is negative it pays to produce sugar. Or one can create a portfolio that can help produce both products so as to increase profits.

Thus, modern biorefineries must be flexible enough to adjust quickly to price changes. In Mexico, monovalent biorefineries are installed (producing sugar or producing ethanol), that are less profitable because they cannot adjust to a relative price change. Under the approach of critical values and real options, this study's objective is to show that a polyvalent project (producing sugar and ethanol) has the likelihood that overtime the capital is worth more than if it had been saved in the bank, compared relative to a monovalent project (producing either sugar or ethanol). Bioethanol is a bioeconomy product, it develops in uncertain scenarios and to assess it, the use critical values is necessary, while production shifting from sugar to ethanol or vice versa the use of real options is required. The hypothesis is that when there is price instability more wealth is generated if biorefineries are polyvalent.

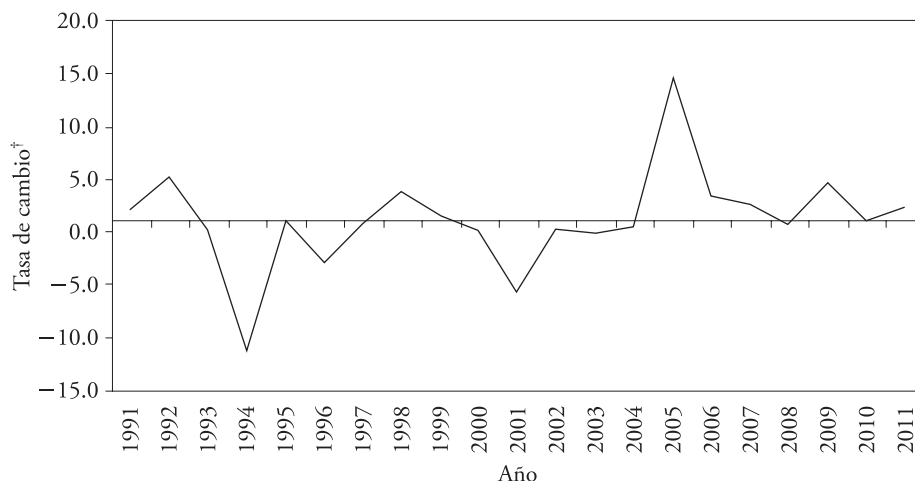


Figura 1. El cambio del precio relativo del azúcar y del bioetanol.

Figure 1. The change in the relative price of sugar and bioethanol.

† La tasa de cambio es la tasa de crecimiento del azúcar entre la tasa de crecimiento del bioetanol. Fuente: elaborado con información de Chemical Economics Handbook Stanford Research (1995); CEPAL (2006); OECD-FAO (2006-2011); JUNAC FEDEAGRO (2012) y BANXICO. † The exchange rate is the rate of growth of sugar over the growth rate of bioethanol. Source: Based on information from Chemical Economics Handbook Stanford Research (1995); CEPAL (2006); OECD-FAO (2006-2011); JUNAC FEDEAGRO (2012) and BANXICO.

que si se hubiera depositado en el banco, comparado con un proyecto monovalente (produce azúcar o produce bioetanol). El bioetanol es un producto de la bioeconomía, se desarrolla en escenarios de incertidumbre y para evaluarlo se debe usar valores críticos; y como se trata de cambiar la producción de azúcar a bioetanol o viceversa se debe usar las opciones reales. La hipótesis es que se genera mayor valor si las biorefinerías son polivalentes cuando hay inestabilidad en los precios

MATERIALES Y MÉTODOS

La serie estadística del precio de azúcar de 1990 a 2011 se obtuvo de la Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (JUNAC FEDEAGRO, 2012), condición Free on Board (FOB) Londres. Los precios internacionales del bioetanol de 1990 a 1994 se obtuvieron de Chemical Economics Handbook Stanford Research (1995), de 1995-2005 se obtuvieron de CEPAL (2006), y los precios de 2006 a 2011 se obtuvieron de OECD-FAO (2011). Los precios en dólares se transformaron a pesos mexicanos usando el tipo de cambio del Banco de México (BANXICO) y se deflactaron con el Índice de Precios al Consumidor base 2Q de diciembre 2010=100 reportados por BANXICO (Cuadro 1).

Los datos de inversión inicial y Valor Actual Neto (VAN) del proyecto tradicional se obtuvieron de funcionarios del Fondo de

MATERIALS AND METHODS

The statistical series of sugar price from 1990 to 2011 was obtained from the National Confederation of Agricultural Producers Associations (JUNAC FEDEAGRO, 2012), Free on Board condition (FOB) London. International prices of bioethanol from 1990 to 1994 were obtained from Chemical Economics Handbook Stanford Research (1995), from 1995 to 2005 prices were obtained from CEPAL (2006), and prices from 2006 to 2011 were obtained from OECD-FAO (2011). Dollar prices were converted to Mexican pesos using the exchange rate of the Bank of Mexico (BANXICO) and were deflated with the Consumer Price Index based 2nd half of December 2010=100 reported by BANXICO (Table 1).

The data of initial investment and Net Present Value (NPV) of the traditional project were obtained from officials of the Capitalization Fund and Investment in the Rural Sector (FOCIR) at a discount rate of 15 %.

Continuous rates of movement of real prices of sugar and bioethanol were determined by the equation $\ln \frac{(P_t)}{(P_{t-1})} = r_t$, where \ln =natural logarithm, P_t =real price in the period t , r_t =continuous rate of movement. With the continuous rates of price movement the mean $\alpha = \frac{\sum_{t=1}^n (r_t)}{n}$ and the standard deviation $\Gamma^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (r_t - \alpha)^2}{n}$, $\Gamma = \sqrt{\Gamma^2}$, were obtained

Capitalización e Inversión en el Sector Rural (FOCIR), a una tasa de descuento del 15 %.

Las tasas continuas de movimiento de los precios reales de azúcar y de bioetanol se determinaron con la ecuación $\ln \frac{(P_t)}{(P_{t-1})} = r_t$, donde \ln =logaritmo natural, P_t =precio real en el periodo t, r_t =tasa continua de movimiento. Con las tasas continuas de movimiento de los precios se determinó para cada producto la media $\alpha = \frac{\sum_{t=1}^n (r_t)}{n}$ y la desviación estándar $\Gamma^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (r_t - \alpha)^2}{n}$, $\Gamma = \sqrt{\Gamma^2}$, que son las medidas de tendencia y de volatilidad de los precios. También se calculó la media (tendencia de los precios) y la varianza (volatilidad promedio de los precios) del portafolio (producto genérico: azúcar, y producto diferenciado: bioetanol) con las ecuaciones de Ross *et al.* (2005), $\bar{\alpha} = x_1\alpha_1 + x_2\alpha_2$, donde $\bar{\alpha}$ =tendencia promedio de la tasa de crecimiento continua de los precios reales o tasa de movimiento del portafolio, α_i =tendencia de

for each product which are measures of trend and price volatility. Also the average (price trend) and variance (average price volatility) of the portfolio (generic product: sugar and differentiated product: bioethanol) were estimated with the Ross *et al.* (2005) equations, $\bar{\alpha} = x_1\alpha_1 + x_2\alpha_2$, where $\bar{\alpha}$ =average trend of continuous growth rate of real prices or portfolio rate movement, α_i =trend of continuous rate of movement of the real price of product $i=1,2$, and x_i =proportion of production capacity to be allocated for product i (35 % sugar and 65 % bioethanol). If the continuous rate of product prices correlation is less than one^[2], then there must be a portfolio with a smaller variance than the weighted variance of the products.

$$\bar{\Gamma}^2 = x_1^2\Gamma_1^2 + 2x_1x_2\Gamma_{12} + x_2^2\Gamma_2^2 = x_1^2\Gamma_1^2 + 2x_1x_2\rho\Gamma_1\Gamma_2 + x_2^2\Gamma_2^2 \tag{1}$$

where $\bar{\Gamma}^2$ =portfolio variance, x_i =proportion of production capacity to be allocated to product i (35 % sugar and 65 % bioethanol), Γ_i^2 =variance of the continuous rate of movement of

Cuadro 1. Datos históricos usados para calcular valores críticos y opciones reales.
Table 1. Historical data used to calculate critical values and real options.

Año	Precio real del bioetanol (\$/L)	Precio real del azúcar (\$/kg)
1990	6.8	9.4
1991	5.7	6.3
1992	5.4	5.2
1993	4.6	4.9
1994	4.5	6.1
1995	6.6	9.9
1996	7.1	8.0
1997	4.9	6.0
1998	4.7	4.8
1999	3.7	3.4
2000	4.4	3.4
2001	4.4	3.5
2002	3.4	3.2
2003	4.2	3.2
2004	5.3	3.6
2005	5.4	4.2
2006	6.1	6.4
2007	5.3	4.4
2008	5.8	4.7
2009	6.3	7.0
2010	7.5	8.2
2011	7.9	9.2

Condición Free on Board (FOB) Londres. Fuente: elaborado con información de Chemical Economics Handbook Stanford Research (1995); CEPAL (2006); OECD-FAO (2006-2011); JUNAC FEDEAGRO (2012) y BANXICO ❖ Condition Free on Board (FOB) London. Source: Based on information from Chemical Economics Handbook Stanford Research (1995); CEPAL (2006), OECD-FAO (2006-2011); JUNAC FEDEAGRO (2012) and BANXICO.

la tasa continua de movimiento del precio real del producto $i=1,2$, y x_i =proporción de la capacidad de producción que se dedicará para el producto i (35 % azúcar y 65 % bioetanol). Si la correlación de la tasa continua de los precios de los productos es menor a uno^[2], entonces debe existir un portafolio que tenga una varianza menor a la varianza ponderada de los productos.

$$\bar{\Gamma}^2 = x_1^2\Gamma_1^2 + 2x_1x_2\Gamma_{12} + x_2^2\Gamma_2^2 = x_1^2\Gamma_1^2 + 2x_1x_2\rho\Gamma_1\Gamma_2 + x_2^2\Gamma_2^2 \quad (1)$$

donde $\bar{\Gamma}^2$ =varianza del portafolio, x_i =proporción de la capacidad de la producción que se destinará al producto i (35 % azúcar y 65 % bioetanol), Γ_i^2 =varianza de la tasa continua de movimiento de los precios del producto i , Γ_{12} =covarianza, ρ_{12} =coeficiente de correlación, $\bar{\Gamma}^2 < x_1\Gamma_1^2 + x_2\Gamma_2^2$.

Con las variables estimadas de media, varianza y covarianza de los precios del azúcar, del bioetanol y del portafolio se determinó el valor crítico (v^*) para cada producto y para el portafolio con la ecuación de Bellman, el movimiento Browniano y el Lema de Ito (Dixit y Pindyck, 1994) para llegar a la fórmula:

$$\beta = \frac{-\left[\bar{\alpha} - \frac{1}{2}\bar{\Gamma}^2\right] \pm \sqrt{\left(\bar{\alpha} - \frac{1}{2}\bar{\Gamma}^2\right)^2 - 4\left(\frac{1}{2}\bar{\Gamma}^2\right)(-\ell)}}{\bar{\Gamma}^2} \quad (2)$$

$$v^* = \frac{\beta}{\beta - 1} I \quad (3)$$

Para calcular el valor de v^* se considera el valor mayor positivo de β ; donde $\bar{\alpha}$ =promedio de la tasa de crecimiento continua de los precios reales, $\bar{\Gamma}^2$ =varianza de la tasa de crecimiento continua de los precios reales, ℓ =tasa de interés libre de riesgo (tasa real de los certificados de tesorería (CETES) de largo plazo), I =inversión.

Para calcular los árboles binomiales con opciones reales se usó la metodología empleada por Copeland y Antikarov (2001), Brach (2003) y Brambila (2011b), quienes señalan que las opciones reales son el derecho pero no la obligación de ejercer una acción durante la vida del proyecto. En esta investigación, la opción real es poder cambiar las proporciones de la capacidad de producción que se destina a azúcar (35 %) y al producto diferenciado bioetanol (65 %).

prices of product i , Γ_{12} =covariance, ρ_{12} =correlation coefficient, $\bar{\Gamma}^2 < x_1\Gamma_1^2 + x_2\Gamma_2^2$.

With the estimated variables for the mean, variance and covariance of sugar price, ethanol price and the portfolio, the critical value (v^*) was determined for each product and for the portfolio with the Bellman equation, Brownian Motion and Ito's Lemma (Dixit and Pindyck, 1994) to arrive at the following formula:

$$\beta = \frac{-\left[\bar{\alpha} - \frac{1}{2}\bar{\Gamma}^2\right] \pm \sqrt{\left(\bar{\alpha} - \frac{1}{2}\bar{\Gamma}^2\right)^2 - 4\left(\frac{1}{2}\bar{\Gamma}^2\right)(-\ell)}}{\bar{\Gamma}^2} \quad (2)$$

$$v^* = \frac{\beta}{\beta - 1} I \quad (3)$$

To calculate the value of v^* the largest positive value of β is considered, where $\bar{\alpha}$ =average continuous growth rate of real prices, $\bar{\Gamma}^2$ =variance of continuous growth rate of real prices, ℓ =risk-free interest rate (long term real rate treasury certificates (CETES)), I =investment.

To calculate the binomial trees with real options we followed the methodology used by Copeland and Antikarov (2001), Brach (2003) and Brambila (2011b), who point out that real options are the right to exercise an action over the life of the project but without obligation. In this research, the real option is to shift the production capacity of the share that goes to sugar (35 %) and differentiated product bioethanol (65 %).

The value of the project in a scenario of volatility can increase, decrease or remain unchanged over time, in such case variability is unchanged, thus focusing attention on increases and decreases. The movement of this value is estimated based on the standard deviation of the continuous rate of price movement (Copeland and Antikarov, 2001).

$$u=e^{\Gamma} \text{ y } d=e^{-\Gamma} \quad (4 \text{ y } 5)$$

where u =is the increase in the value of the project, and d =is the decrease in the value of the project.

During the life of the project one can choose to change proportions between sugar or ethanol production, then the rule is:

$$MAX(Vp, v_1, v_2) \quad (6)$$

² Si esto no ocurre la hipótesis planteada no cumple, por lo que se ignora esta posibilidad ❖ If this does not happen the proposed hypothesis fails, so this option is ignored.

El valor del proyecto en un escenario de volatilidad puede aumentar, disminuir o mantenerse igual en el tiempo, en cuyo caso no se altera la variabilidad, centrando así la atención en aumentos y disminuciones. El movimiento de ese valor se estima con base en la desviación estándar de la tasa continua de movimiento de los precios (Copeland y Antikarov, 2001).

$$u=e^{\Gamma} \text{ y } d=e^{-\Gamma} \quad (4 \text{ y } 5)$$

donde u es lo que aumenta el valor del proyecto, y d es lo que baja el valor del proyecto.

Durante la vida del proyecto se puede optar por cambiar las proporciones entre producir azúcar o bioetanol, y la regla es:

$$MAX(Vp, v_1, v_2) \quad (6)$$

donde Vp = proporción de la capacidad productiva dedicada al bien $i=1, \text{ y } 2$, v_i = valor del proyecto si sólo se dedica a i . Esto es, en cualquier momento el proyecto, debe optar por producir lo que más valor genera: bioetanol o azúcar.

El valor del proyecto puede aumentar o disminuir y la probabilidad de que esto ocurra es (Brach, 2003):

$$p = \frac{(1 + \ell) - d}{u - d} = \text{probabilidad de que aumente el valor del proyecto} \quad (7)$$

$$1 - p = \text{probabilidad de que disminuya el valor del proyecto} \quad (8)$$

donde ℓ = tasa de interés libre de riesgo, u es lo que aumenta el valor del proyecto y d es lo que baja el valor del proyecto.

El valor del proyecto al aumentar (u) o disminuir (d) en el tiempo forma un árbol de decisiones (Figura 2).

Una vez que se tienen todos los nodos y un horizonte para el azúcar, el bioetanol o el portafolio (azúcar y bioetanol), se forma un árbol de decisiones con opción de cambiar los montos de la producción. Para ello, se calcularon los valores en los nodos de atrás para adelante y entonces se eligió el valor máximo entre Vp, v_1, v_2 y se descontó el valor hasta el momento presente (Brach, 2003).

$$v_{12} = \frac{p(v_u) + (1 - p)(v_d)}{1 + \ell} \quad (9)$$

Mascareñas *et al.* (2004) indican que el valor actual total del proyecto será igual al valor actual neto tradicional más el valor de

where Vp = share of production capacity dedicated to the good $i=1, \text{ and } 2$, v_i = project value if it is only dedicated to i . That is, at any given time the project must choose to produce what generates more value, bioethanol or sugar.

The value of the project may increase or decrease and the probability of this happening is (Brach, 2003):

$$p = \frac{(1 + \ell) - d}{u - d} = \text{probability that the value of the project increases} \quad (7)$$

$$1 - p = \text{probability that the value of the project decreases} \quad (8)$$

where ℓ = risk-free interest rate, u = is the increase in the value of the project and d = is the decrease in the value of the project.

The value of the project when increasing (u) or decreasing (d) over time forms a decision tree (Figure 2).

Once all nodes are present and there is a time limit for sugar, bioethanol or portfolio (sugar and ethanol), a decision tree is formed with the option of shifting the amounts of production. To do this, the values in the nodes were calculated from back to front and then the maximum value among Vp, v_1, v_2 was chosen with present time discounted values (Brach, 2003).

$$v_{12} = \frac{p(v_u) + (1 - p)(v_d)}{1 + \ell} \quad (9)$$

Mascareñas *et al.* (2004) indicate that the total present value of the project will be equal to the traditional net present value plus the option value of shifting the proportions allocated to sugar or bioethanol.

$$VAT = VAN + VOR \quad (10)$$

where VAT = total present value, VAN = net present value (traditional) and VOR = real option value.

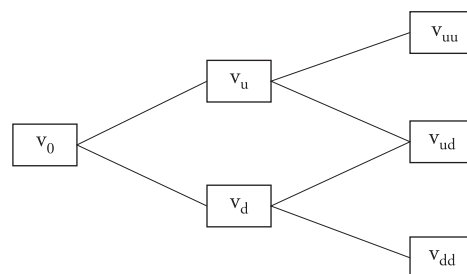


Figura 2. Árbol de decisiones. Fuente: Brach (2003).
Figure 2. Decision tree. Source: Brach (2003).

la opción de poder cambiar de proporciones destinados al azúcar o al bioetanol.

$$VAT = VAN + VOR \quad (10)$$

donde VAT =valor actual total, VAN =valor actual neto (tradicional) y VOR =valor de la opción real.

Se estimó la distribución de los valores (v_u^t, v_d^t) del proyecto en un tiempo determinado usando la fórmula de probabilidades binomiales (Copeland y Antikarov, 2001).

$$B\left(\frac{n}{t}, p\right) = \binom{t}{n} p^n (1-p)^{t-n} = \frac{t!}{(t-n)!n!} p^n (1-p)^{t-n}$$

donde B =probabilidad de estar en el nodo “ n ” en el momento t , n =número de nodos en el periodo t , t =periodo evaluado=1,2,...,10, p =probabilidad de que aumente el valor del proyecto, $1-p$ =probabilidad de que disminuya el valor del proyecto.

La distribución de los valores de cada periodo se aproximó con la normal, por lo que se pudo estimar la probabilidad de que el proyecto tenga un valor predeterminado, estandarizando los valores y usando las tablas Z de una distribución normal.

$$\frac{x_i - \bar{x}}{\Gamma} = Z$$

donde x_i =valor predeterminado del proyecto, \bar{x} =valor medio del proyecto en el periodo t , Γ =desviación estándar de los valores del proyecto en el periodo t . En la Figura 3 se observa la distribución aproximada de los valores del azúcar en el año 10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se esperaba el proyecto polivalente (produce azúcar o bioetanol o ambos) tiene un valor crítico, que es el rendimiento necesario en escenarios volátiles menor (1.95) al requerido para proyectos monovalentes como producir únicamente azúcar (2.19) o únicamente bioetanol (1.99), en una proporción de producir 35 % azúcar y 65 % bioetanol (Cuadro 2).

La tendencia de los precios es disminuir cada año en el azúcar (-0.11 %), y aumentar el bioetanol (0.73 %) y el portafolio (0.44 %). Esto indica que con el tiempo se puede favorecer la producción de bioetanol pero se debe adecuar en función del cambio de precios (Cuadro 3).

The distribution of the values (v_u^t, v_d^t) of the project was estimated at any given time using the binomial probability formula (Copeland and Antikarov, 2001).

$$B\left(\frac{n}{t}, p\right) = \binom{t}{n} p^n (1-p)^{t-n} = \frac{t!}{(t-n)!n!} p^n (1-p)^{t-n}$$

where B =probability of being at node “ n ” at the time t , n =number of nodes at the period t , t =evaluated period=1,2,...,10, p =probability that the value of the project increases, $1-p$ =probability that the value of the project decreases.

The distribution of the values in each period is approximated to normal, so the probability that the project has a predetermined value could be estimated, standardizing the values and using Z tables of a normal distribution.

$$\frac{x_i - \bar{x}}{\Gamma} = Z$$

where x_i =predetermined value of the project, \bar{x} =mean project value at period t , Γ =standard deviation of the values of the project at period t . Figure 3 shows the approximate distribution of sugar values in year 10.

RESULTS AND DISCUSSION

As expected the polyvalent project (producing sugar or bioethanol or both) has a lower critical value (1.95), which is the necessary performance in volatile scenarios than that required for monovalent projects sugar only production (2.19) or solely bioethanol (1.99), with a production mix of 35 % sugar and 65 % ethanol (Table 2).

For sugar, the price trend is to decrease each year -0.11 %, for bioethanol to increase by 0.73 % and the portfolio price in 0.44 %. This indicates that over time bioethanol production can be promoted but should be adapted according to the price change (Table 3).

The variance of the portfolio (0.038)^[3] is lower than the weighted variance of each product (0.046)^[4], which favors the option of having a flexible biorefinery that adjust its production to changing prices.

Table 4 shows that the traditional net present value of each project (sugar, bioethanol and portfolio: sugar or bioethanol or both) is equal to 100 %. This

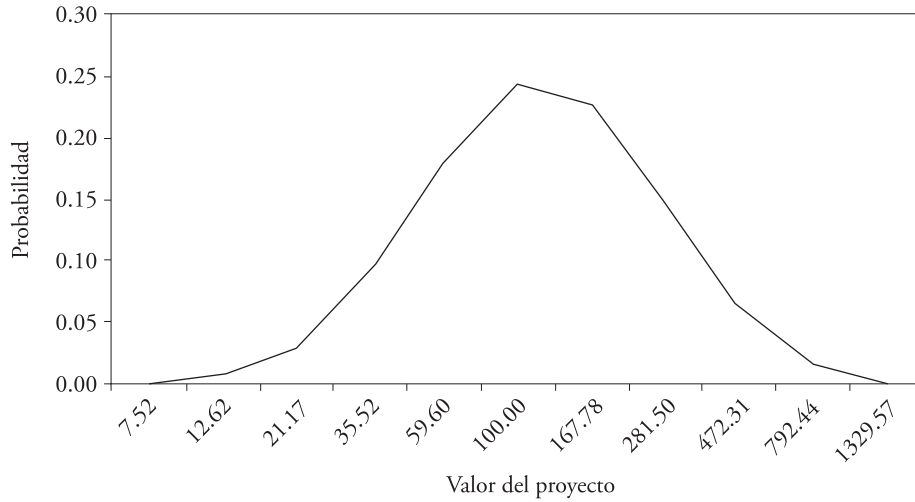


Figura 3. Distribución de los valores del proyecto de azúcar en el año diez.
Figure 3. Distribution of the values of the sugar project in year ten.

La varianza del portafolio (0.038)^[3] es menor a la varianza ponderada de cada producto (0.046)^[4], lo cual favorece la opción de tener una biorefinería flexible que adecúe su producción al cambio de precios.

En el Cuadro 4 se muestra que el valor actual neto tradicional de cada proyecto (azúcar, bioetanol y portafolio: azúcar o bioetanol o ambos) es igual al 100 %. Esto permite observar con más claridad el valor de tener una opción real de portafolio.

Cuadro 2. Valores críticos de los proyectos monovalentes (azúcar; bioetanol) y polivalente (azúcar o bioetanol).

Table 2. Critical values of monovalent projects (sugar; bioethanol) and polyvalent projects (sugar or bioethanol).

Concepto		Azúcar	Bioetanol	Portafolio
Beta	β	1.84	2.01	2.05
Valor crítico	v^*	2.19	1.99	1.95
Proporción	x	0.35	0.65	-

Cuadro 3. Indicadores para cada proyecto: azúcar, bioetanol y portafolio.
Table 3. Indicators for each project: sugar, bioethanol and portfolio.

Concepto		Azúcar	Bioetanol	Portafolio
Media	α	-0.0011	0.0073	0.0044
Varianza	Γ^2	0.0669	0.0349	0.0380
Desviación estándar	Γ	0.2587	0.1869	0.1951
Covarianza	Γ_{12}			0.0332
Tasa de interés libre de riesgo	ℓ	0.0500	0.0500	0.0500
Valor del proyecto hacia arriba	$u=e^\Gamma$	1.2953	1.2055	1.2154
Valor del proyecto hacia abajo	$d=e^{-\Gamma}$	0.7720	0.8295	0.8228
Probabilidad de subir	$p = ((1+r) - d)(u - d)^{-1}$	0.5312	0.5864	0.5788
Probabilidad de bajar	$(1-p)$	0.4688	0.4136	0.4212
Proporción	x	0.3500	0.6500	

³ $\Gamma_p^2 = x_1^2\Gamma_1^2 + 2x_1x_2\Gamma_{12} + x_2^2\Gamma_2^2 = (0.4225)(0.0349) + 2(0.65)(0.35)(0.0332) + (0.1225)(0.0669) = 0.038$

⁴ $\Gamma^2 = x_1\Gamma_1^2 + x_2\Gamma_2^2 = (0.35)(0.0669) + (0.65)(0.0349) = 0.046$

La probabilidad de que el valor del proyecto monovalente o polivalente sea mayor que lo que el capital invertido obtendría en el Banco comercial se calcula estandarizando los valores en cada periodo. Por ejemplo, la probabilidad de que el valor del proyecto del azúcar, del bioetanol y del portafolio en el año 6, la cual debe ser mayor a 150 (es un rendimiento de 7 % anual y es superior al rendimiento de los certificados de la tesorería). Con los datos del Cuadro 4 se obtiene 39 % en el caso del azúcar ($\Gamma=177.08$, $\bar{x}=100$), ($\Gamma=255.99$, $\bar{x}=100$), 42 %

allows a clearer appreciation of the value of having a portfolio real option.

The probability that the value of the monovalent or polyvalent project is greater than if the capital had been invested in a commercial bank is calculated standardizing the values in each period. For example, the probability that the project value for sugar, ethanol and portfolio in the year 6, should be greater than 150 (which is a 7 % annual yield and is higher than the treasury certificates yield). In the case of sugar with Table 4 data 39 % is obtained

Cuadro 4. Dinámica del valor del proyecto monovalente (azúcar o bioetanol) y polivalente (azúcar y bioetanol).
Table 4. Dynamics of the monovalent project value (sugar or bioethanol) and polyvalent (sugar and ethanol).

Valores [†] /Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Azúcar											
	100	130	168	217	282	365	472	612	792	1026	1330
		77	100	130	168	217	282	365	472	612	792
			60	77	100	130	168	217	282	365	472
				46	60	77	100	130	168	217	282
					36	46	60	77	100	130	168
						27	36	46	60	77	100
							21	27	36	46	60
								16	21	27	36
									13	16	21
										10	13
											8
Bioetanol											
	100	121	145	175	211	255	307	370	446	538	648
		83	100	121	145	175	211	255	307	370	446
			69	83	100	121	145	175	211	255	307
				57	69	83	100	121	145	175	211
					47	57	69	83	100	121	145
						39	47	57	69	83	100
							33	39	47	57	69
								27	33	39	47
									22	27	33
										19	22
											15
Portafolio											
	100	122	148	180	218	265	322	392	476	579	703
		82	100	122	148	180	218	265	322	392	476
			68	82	100	122	148	180	218	265	322
				56	68	82	100	122	148	180	218
					46	56	68	82	100	122	148
						38	46	56	68	82	100
							31	38	46	56	68
								26	31	38	46
									21	26	31
										17	21
											14

[†] Estos cálculos se realizaron utilizando la metodología señalada anteriormente (Brach, 2003) ❖ These calculations were performed using the methodology outlined above (Brach, 2003).

en el caso del bioetanol; y en el caso de tener la opción real de ser polivalente con los datos del Cuadro 5, la probabilidad para el año 6 es 54 % ($\Gamma=159.26$, $\bar{x}=167.92$), confirmando que es conveniente tener una biorefinería polivalente a una monovalente.

El costo inicial de la biorefinería polivalente es alrededor de 100 millones de dólares, por lo cual el valor de la opción es 6 millones de dólares. El Cuadro 5 muestra que si hay opción real de cambiar azúcar a bioetanol o viceversa en cualquier momento, el valor del proyecto aumenta en 6 millones de dólares que es el valor de la opción real (VOR). Así, el Valor Actual Total será igual al Valor Actual Neto Tradicional más el Valor de la Opción: $VAT=VAN+VOT=106=100+6$.

CONCLUSIONES

Los productos de la bioeconomía, bioetanol (producto diferenciado) y azúcar (producto genérico) provienen de la caña de azúcar, compiten por la misma materia prima y tienen un comportamiento de precios inestables, por lo cual producir bioetanol es rentable en algunas ocasiones y en otras lo es el azúcar. Por tanto, se concluye que una biorefinería polivalente que produce productos de la bioeconomía debe ser técnicamente capaz de adecuarse a los cambios de precios para producir azúcar o bioetanol o ambos para que el valor del proyecto sea más rentable que si se depositara en el banco a una tasa de 5 % en CETES. En contraste, una biorefinería monovalente que produce únicamente azúcar

($\Gamma=177.08$, $\bar{x}=100$), in the case of ethanol 42 % is obtained ($\Gamma=255.99$, $\bar{x}=100$); and in the case of the real option of being polyvalent with the data in Table 5, the probability for year 6 is 54 % ($\Gamma=159.26$, $\bar{x}=167.92$), confirming that it profits to have a polyvalent biorefinery over a monovalent one.

The initial cost of the polyvalent biorefinery is around \$ 100 million dollars, for which the value of the option is \$ 6 million dollars. Table 5 shows that if there is a real option to change sugar to bioethanol or vice versa at any time, the project's value increases by \$ 6 million dollars which is the value of the real option (VOR). Thus, the Total Present Value is equal to the Traditional Net Present Value plus the Value of the Option: $VAT=VAN+VOT=106=100+6$.

CONCLUSIONS

The products of the bioeconomy, bioethanol (differentiated product) and sugar (generic product) come from sugarcane and compete for the same raw material and they have unstable prices behavior, thus producing ethanol is profitable sometimes and in others sugar is. Therefore, it is concluded that a polyvalent biorefinery that produces bioeconomy products must be technically capable of adapting to changes in prices to produce sugar or bioethanol or both for the value of the project to be more profitable than if it were saved in the bank at a 5 % rate in CETES. In contrast, a monovalent biorefinery that produces only sugar

Cuadro 5. Valor de la opción real del proyecto al ser polivalente (azúcar o bioetanol o ambos).
Table 5. Real option value of the project when polyvalent (sugar or ethanol or both).

Valores [†] /Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	106	133	169	218	282	365	472	612	792	1026	1330
		87	105	132	169	218	282	365	472	612	792
			71	86	105	131	168	217	282	365	472
				58	70	85	104	131	168	217	282
					48	58	70	84	103	130	168
						39	47	57	69	83	100
							33	39	47	57	69
								27	33	39	47
									22	27	33
										19	22
											15

[†] Los valores de los nodos se obtienen de atrás para adelante y siempre bajo la regla de seleccionar el de mayor valor (Brach, 2003) ❖
 The values of nodes are obtained backwards and always under the rule of selecting the highest value (Brach, 2003).

o bioetanol tiene mayor riesgo porque puede tener márgenes con ganancias o con pérdidas.

or bioethanol has a higher risk because it can have margins with profits or losses.

LITERATURA CITADA

—End of the English version—

- *—
- Aresta, M., A. Dibenedetto, and F. Dumeignil. 2012. *Biorefinery: From Biomass to Chemicals and Fuels*. De Gruyter. Alemania. 400 p.
- Barack, O. 2012. *National bioeconomics blueprint*. The White House. Washington, USA. 43 p.
- Becker, G. S. 1976. Altruism, egoism and genetic fitness: Economics and sociobiology *J. Econ. Liter.* 14: 817-821.
- Becker, G. S. 1977. *The Economics Approach to Human Behavior*. Chicago Press. USA. 250 p.
- Bonomi, A. 2012. *The Brazilian Sugarcane Industry: A Favorable Environment to Introduce Lignocelluloses Ethanol Production Technologies*. *Advanced Biofuels in a Biorefinery Approach*. University of Copenhagen. Henning Jorgensen. Dinamarca. 120 p.
- Brach, M. 2003. *Real Options in Practice*. John Wiley and Sons. New York. pp: 1-66.
- Brambila P., J. J. 2011a. *Bioeconomía: Conceptos y Fundamentos*. SAGARPA-COLPOS, México. pp: 173-284.
- Brambila P., J. J. 2011b. *Bioeconomía: Instrumentos para su Análisis Económico*. SAGARPA-COLPOS, México. 312 p.
- Calestous, J., and Konde V. 2001. *The new bioeconomy: Industrial and environmental biotechnology in developing countries*. United Nations Conference on trade and development unctad/ditc/ted712. United Nations, Geneva 15-16 de noviembre del 2001.
- Chemical Economics Handbook Stanford Research. 1995. <http://www.ihs.com/products/chemical/planning/ceh/ethanol.aspx>. (Consultado: marzo 2012).
- Colin, C. W. 1976. *Mathematical Bioeconomics: The Optional Management of Renewable Resources*. Wiley, Interscience. New York. USA.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2006. *Análisis económico de precios del bioetanol para mezclas con gasolina*. México. 18 p.
- Copeland, T., and V. Antikarov. 2001. *Real Option: a Practitioner's Guide*. Texere. New York. pp: 84-215.
- Dixit, A. K., and R. S. Pindyck. 1994. *Investment Under Uncertainty*. Princeton University. New Jersey. pp: 135-152.
- Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (JUNAC-FEDEAGRO). <http://www.fedeagro.org/>. (Consultado: marzo 2012).
- Hardy R., W. F. 2002. *The Bio-based economy*. In: Janik, J. and A. Hipkey (eds). *Trends in New Crops and Uses*. ASHS Press, Alexandria V.A. pp: 11-16.
- Mascareñas J., P. Lamothe, F. J. López L., y W. De Luna. 2004. *Opciones Reales y Valoración de Activos: Como Medir la Flexibilidad Operativa en la Empresa*. Prentice Hall. España. pp: 3-58.
- National Renewable Energy Laboratory. *What is a biorefinery*. www.nrel.gov/biomass/biorefinery. (Consultado: octubre 2011).
- Organisation for Economic Co-operation and Development-Food and Agriculture Organization of the United Nations (OECD-FAO), *Agricultural Outlook 2006-2011*.
- Ross S., R. W. Westerfield, and J. Jaffe. 2005. *Corporate Finance*. McGrawHill. Boston. pp: 255-290.