

Un modelo de producción y consumo de azúcar en Venezuela

A model of the production and consumption of sugar in Venezuela

Ramírez, Vicente ^{1,2*}; Lozada, Gerardo ¹; Arellano, Junior ¹; Calderón, María ¹; Andrade, Corymar ¹

¹Escuela de Ingeniería de Sistemas (EISULA); ²Centro de Simulación y Modelos (CESIMO)

Facultad de Ingeniería, ULA

Mérida 5101, Venezuela

*vicente@ula.ve

Resumen

Este trabajo presenta un modelo de producción y consumo de azúcar en Venezuela, utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas. A partir de datos reales, entrevistas y de alguna documentación existente en el sector azucarero, se pudo elaborar la descripción del sistema real, con la cual se construyó el modelo propuesto que ha sido probado y validado. Como se sabe, el azúcar es un alimento básico de la dieta en muchos países. La escasez observada en tiempos recientes en Venezuela ha motivado la elaboración de este modelo, con miras a entender los procesos subyacentes en el sector y la dinámica que de él surge. Algunos escenarios fueron evaluados tales como el aumento de la capacidad de producción a través de la habilitación de nuevas centrales azucareras, disminución del consumo ilícito gracias a la intervención gubernamental y la habilitación de nuevas tierras para el proceso de producción de caña de azúcar. El modelo permite observar la vulnerabilidad del mercado azucarero nacional a cambios en las políticas gubernamentales sobre el sector, que podrían tener un impacto (positivo o negativo) sobre el mismo, distinguibles sólo en el mediano plazo debido a las demoras propias del cultivo de la caña de azúcar, así como de las demoras en la instalación de nueva capacidad de producción.

Palabras clave: Azúcar, caña de azúcar, producción, consumo, dinámica de sistemas, Venezuela

Abstract

This paper presents a model of the production and consumption of sugar in Venezuela, using the Systems Dynamics methodology. From real data, interviews and available documentation a description of the system was developed and was used to build the proposed model. It was then validated and tested. Although a staple in many countries' diet, nowadays, sugar is in short supply in Venezuela. This model was developed in order to understand the underlying processes in the sector and the dynamics arising there from. Various scenarios were evaluated, such as increase in production capacity through the building of new sugar mills, decrease in illegal consumption by means of government intervention and the incorporation of new land for the production of sugar cane. The model revealed the sugar market's vulnerability to changes in government policies, which could have an impact (positive or negative) distinguishable only in the medium term due to the duration of the cultivation cycle and the time taken to install new production capacity.

Key words: Sugar, sugar cane, production, consumption, systems dynamics, Venezuela.

1 Introducción

Al observar los datos históricos del mercado azucarero venezolano, se encuentra que las políticas que se han seguido no lo han favorecido, por el contrario, se ha llegado al abandono de tierras destinadas a la siembra de caña y la producción de azúcar se ha visto afectada por la falta de inversión y la disminución de incentivos a los productores. Adicionalmente, se han presentado fuertes cambios climáticos, que han perjudicado la producción de la materia prima.

El crecimiento del consumo aunado a los problemas apenas descritos hace que haya un desabastecimiento del mercado, lo que en varias oportunidades ha conllevado a escasez del producto en el país.

Según Tovar (2009), presidente de la Confederación de Cañicultores de Venezuela (FESOCA) "el panorama azucarero muestra como, desde la zafra 2005-2006 hasta la cosecha 2008-2009, la superficie sembrada con caña de azúcar se redujo de 111400 Ha (Hectáreas) a 95000 Ha, una baja de más de 15000 Ha o 14%, esto ha sido producido por

diversos factores que han provocado esta merma en el circuito azucarero. La poca rentabilidad del cultivo, inseguridad jurídica e invasiones han incidido en la producción. Aunado a esto, el Ministerio de Agricultura y Tierras informó que durante el primer semestre de 2009 el crecimiento de la producción fue nulo en contraste con el primer semestre de 2008, como resultado de una política destinada a mantener un equilibrio entre producción y capacidad de procesamiento”.

La escasez de azúcar obliga a instituciones públicas y privadas a establecer medidas que promuevan el abastecimiento del mercado, siendo necesario tener a disposición un instrumento que permita evaluar el impacto de distintas estrategias en el mercado nacional y plantearse diferentes escenarios de operación y, de esta forma, evitar el establecimiento de prácticas empíricas que acarreen gastos y pueden perjudicar a la nación.

El objetivo de este trabajo ha sido elaborar un modelo de simulación que permita estudiar la dinámica del sistema de producción y consumo de azúcar en Venezuela, lo cual incluye estudiar el sistema de producción y consumo de azúcar, las fluctuaciones de la producción y consumo de azúcar a lo largo del horizonte de tiempo establecido, identificar las variables claves del sistema, formular un modelo de simulación que se ajuste a la estructura del sistema real de producción y consumo de azúcar en Venezuela y evaluar diferentes escenarios que permitan inferir el impacto de distintos cambios sobre el mercado azucarero nacional.

La metodología utilizada fue la Dinámica de Sistemas propuesta por Forrester (1961) y Sterman (2000), la cual consiste en: a) Definir el problema en estudio, así como las variables claves que intervienen en el mismo, y el comportamiento dinámico de dichas variables a lo largo del horizonte de tiempo seleccionado y que se presentan en la sección 2; b) Formular las hipótesis dinámicas que deben ser comprobadas a lo largo del estudio, también presentadas en la sección 2, c) Formular el modelo de simulación, que se describe en la sección 3; d) Probar y validar el modelo, siendo esta parte discutida en la sección 4 y e) Diseñar escenarios que permitan inferir comportamientos del sistema real a partir del comportamiento del modelo, que se discuten en la sección 5. Finalmente, en la sección 6 se presentan algunas notas finales.

2 Sistema real

El azúcar se obtiene mediante un proceso industrial que comienza con la extracción del zumo de la caña de azúcar. La caña de azúcar se obtiene mediante un proceso agrícola que dura en promedio 12 meses, y es cultivada en zonas cálidas (Palmar, 2010). La cosecha se realiza entre los meses de enero y mayo y consiste en el cortado de las plantas de caña, para dejar en la tierra el tallo que dará origen a la nueva planta el año siguiente. El proceso de siembra se

ve afectado por la disponibilidad de tierras e inversiones y por ciertas condiciones adversas, como las sequías que han afectado entre un 10% y 15% de la cosecha.

La plantas de caña de azúcar tiene una duración promedio de cinco años (Agroinformación, 2002), momento en el cual el tallo debe ser retirado de la tierra, para sembrar una nueva planta.

Cuando la producción de caña de azúcar en el país no logra satisfacer las necesidades del mercado, se recurre a la importación de caña de azúcar en lugar del producto final, para evitar mano de obra e instalaciones ociosas. Cuando se tiene un excedente de caña de azúcar éste es exportado. De acuerdo a los datos obtenidos de AGRINova (2007) en Venezuela cuando el área de siembra estuvo alrededor de 111.400 Ha, hubo una producción aproximada de 750 a 800 mil Tn (Toneladas) anuales, lo cual sólo abasteció el 75-80% del consumo total, que se estima en 1 millón de Tn, teniendo que importar el déficit. En la Tabla 1 se muestra la disponibilidad de tierras para la siembra y lo que éstas producen en las distintas regiones de Venezuela. La producción anual de caña de azúcar se muestra en la Fig. 1 de 1992-2008.

Tabla 1. Áreas de siembra disponible y producción por central azucarera abastecida para el 2007

Central azucarero	Estado	Área de siembra (ha)	Prod. (kg/ha)
El Palmar	Aragua	13000	62700
Rio Yaracuy	Yaracuy	10800	60300
Matilde	Yaracuy	7000	62100
Rio Turbio	Lara	14000	68300
Tocuyo	Lara	3400	73400
Carora	Lara	3600	59800
Pastora	Lara	11000	69500
Portuguesa	Portuguesa	16000	58000
Majaguas	Portuguesa	6000	55000
Rio Guanare	Portuguesa	5400	56300
Toliman	Portuguesa	10600	57600
Venezuela	Zulia	5500	62700
Ureña	Táchira	2300	66100
Cumanacoa	Sucre	2800	60000
TOTAL		111400	871800

Fuente: AgrEvo (2010)

De la Tabla 1 se obtiene que por cada hectárea sembrada se producen aproximadamente 62.27 Tn de caña de azúcar al año (5.19 Tn de caña de azúcar mensuales). El rendimiento de la caña de azúcar, es decir, la cantidad de azúcar que de ella se obtiene, es de aproximadamente el 9% (Ruiz, 2000), por esta razón, de cada tonelada de caña de

azúcar se espera obtener 0.09 Tn de azúcar. El proceso de producción de azúcar se ve afectado directamente por la disponibilidad de la materia prima necesaria para obtener el jugo de caña que inicia el proceso.

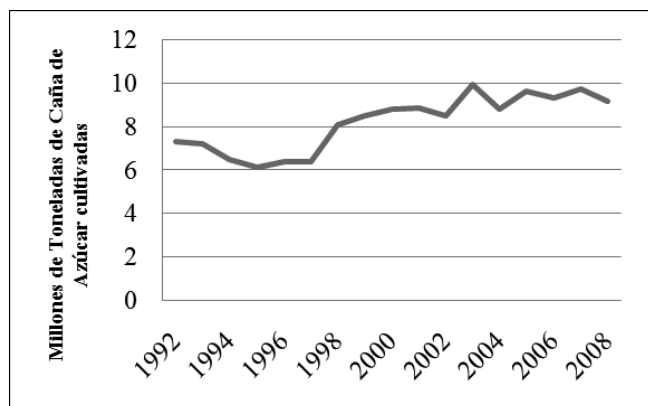


Fig. 1. Cultivo de Caña de Azúcar en Venezuela, 1992 – 2008 Fuente: Fundacaña (2009)

La demanda está conformada por el azúcar requerida por la población y por las industrias alimenticias. Se puede calcular mediante los requerimientos per cápita para el periodo de estudio, de acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 2. Con estos datos se tiene que el consumo diario promedio por habitante es 41.63 gr (gramos), lo que implica una cantidad mensual de 1248.90 gr.

Tabla 2. Consumo de azúcar diario por persona

Año	Gramos por persona diario
2003	48.71
2004	45.06
2005	43.15
2006	40.12
2007	35.76
2008	38.58
2009	40.04

Fuente: INE (2004)

El crecimiento de la población estimula la expansión del sector industrial. En Venezuela la tasa de natalidad se encuentra aproximadamente en 2.2% al año, mientras que la tasa de mortalidad es de aproximadamente 0.4% anual (Index Mundi, 2008).

La inversión agropecuaria e industrial genera mejoras y aumento en la capacidad de producción de la caña de azúcar y del azúcar respectivamente, lo que se traduce en mejoras para el abastecimiento del mercado. La industria azuca-

ra cuenta actualmente con 14 centrales en el país. La Tabla 3 muestra las capacidades de producción de cada una de estas centrales, cuyo promedio de producción nacional es de 12767.14 Tn/Mes.

Tabla 3. Capacidad de producción de las centrales azucareras

Nro.	Central	Capacidad de procesamiento de caña (Tn/Mes)	Capacidad de producción de azúcar (Tn/Mes)
1	El palmar	270000	24300
2	Río Yaracuy	210000	18900
3	Matilde	24000	2160
4	Río turbio	210000	18900
5	Tocuyo	72000	6480
6	Carora	75000	6750
7	Pastora	144000	12960
8	Portuguesa	420000	37800
9	Majaguas	210000	18900
10	Río Guanare	90000	8100
11	Tolimán	126000	11340
12	Venezuela	24000	2160
13	Ureña	36000	3240
14	Cumanacoa	75000	6750
	Promedio	141857	12767

Fuente: Fundacaña (2009)

Quando la producción nacional de azúcar no se ajusta a las necesidades de la población se debe recurrir al mercado internacional, importando cuando la producción es inferior a la demanda, o bien, exportando cuando surge un excedente. Las prolongadas sequías que se presentaron hasta el 2009 en Venezuela y, junto a esto, la desinversión por parte del sector privado debido a las políticas regulatorias del gobierno de turno, han provocado periodos de desabastecimiento del mercado nacional. De la producción total de azúcar en el país el 40% está destinado al sector industrial y el 60% restante al consumo poblacional. Sin embargo, de este último porcentaje cierta parte se dirige hacia un “consumo ilícito”, es decir, las ventas no reguladas por el gobierno y que, según las especulaciones hechas por expertos entrevistados en la materia buena parte va al consumo industrial, alcanzando un 25% de la producción total.

La caña sembrada para cosechar es aumentada por la caña nueva y ésta a su vez aumentada por nuevas tierras destinadas a su cultivo. La caña sembrada es disminuida por la caña dañada, y aumenta la caña disponible para la elaboración del azúcar a medida que se realiza la cosecha. La caña de azúcar es la materia prima para la producción de azúcar, por ello al producirse azúcar las cantidades de caña van disminuyendo, encontrándose así un ciclo de realimentación negativo.

Cuando la cantidad de caña cosechada no es suficiente para cubrir toda la capacidad instalada en las centrales azucareras del país se debe importar la materia prima, no se importa azúcar inmediatamente porque los costos suelen ser altos. Si por el contrario se produce un excedente de caña se recurre a la exportación.

A medida que aumentan la capacidad instalada en las centrales azucareras y la extracción de la caña, se incrementan los niveles de producción; las centrales azucareras tienen una vida útil por lo que al cumplirse ésta se disminuye la producción nacional, debido al retiro de la capacidad instalada.

Si se produce un déficit en la cantidad de azúcar a pesar de haber utilizado toda la capacidad de producción, se importa, aumentando la cantidad disponible para que la demanda del producto sea cubierta, en caso contrario si lo que se presenta es un excedente entonces se vende en el mercado internacional.

La demanda de azúcar es determinada por el consumo poblacional, calculado por el consumo per cápita y la población nacional; consumo industrial, regulado por normativas gubernamentales, y el “consumo ilícito”, relacionado con el mercado negro del producto, es decir, aquella producción que de las centrales azucareras va al mercado sin pasar por el control del gobierno.

3 Modelo

3.1. Supuestos del modelo

Siendo el modelo propuesto agregado a nivel sectorial, se requiere hacer algunas suposiciones que ayuden a simplificar la complejidad inherente. Estos supuestos permiten además considerar elementos del sistema real de los cuales no se consigue información estadística:

- El tiempo de importación es, en promedio, 2 meses, tanto para la caña de azúcar como para el azúcar.
- La tasa de consumo industrial es de 65%.
- La caña tarda 5 meses en crecer.
- El promedio productivo de las centrales azucareras es de 12767 Tn/Mes por central.
- La cantidad de azúcar y de caña de azúcar que se requiera importar es comprada en el mercado internacional sin inconvenientes.

3.2. Estructura para la Caña

Toda la estructura (o Diagrama de Forrester) obtenida a través del proceso de modelado y las simulaciones se hicieron utilizando el VensimPLE (Vensim, 2010). La Fig. 2 muestra la estructura del modelo o diagrama de Forrester correspondiente a la Caña. Se observan los distintos niveles o variables de estado, que conectados representan el proceso que ocurre en el sistema real desde que se siembra la caña de azúcar para obtener los tallos de caña, el crecimiento de la caña sembrada, la cosecha de la caña sembrada

para convertirse en caña disponible tanto para la producción del azúcar como para la exportación. La caña para cosechar puede eventualmente dañarse. La caña, de no ser suficiente para la producción del azúcar, se importa. Además, se observa una sub-estructura que representa las tierras disponibles para sembrar caña.

El nivel Caña para cosechar es incrementado por el flujo crecimiento de la caña y disminuido por los flujos caña dañada (que representa las pérdidas de caña de azúcar durante todo el proceso de siembra y está determinada por las CONDICIONES ADVERSAS) y cosecha de caña, de acuerdo a lo expresado en las ecuaciones (1) a (4).

$$\text{Caña para cosechar} = \text{INTEG}(\text{crecimiento de caña-caña dañada-cosecha de caña}, \text{INI Caña para cosechar}) \quad (1)$$

$$\text{crecimiento de caña} = \text{Tallos de caña} * \text{TASA DE CRECIMIENTO DE LA CAÑA} \quad (2)$$

$$\text{cosecha de caña} = 10 * \text{IF}(((\text{Time}/12 - \text{INTEGER}(\text{Time}/12)) > 0 : \text{AND}: (\text{Time}/12 - \text{INTEGER}(\text{Time}/12)) < 0.5)) \text{ THEN } (\text{Caña para cosechar}/\text{MESES DE COSECHA}) \text{ ELSE } (0) \quad (3)$$

$$\text{caña dañada} = \text{Caña para cosechar} * \text{CONDICIONES ADVERSAS} \quad (4)$$

El nivel Caña es aumentado por los flujos cosecha de caña (que representa la caña apta para la producción de azúcar, ver ecuación 3) e importación de caña (ecuación 10) y es disminuido por los flujos caña para producción (la requerida por la industria azucarera) y exportación de caña (en el modelo se supone que se exporta caña cuando hay exceso de producción). Ver ecuaciones (5) a (8).

$$\text{Caña} = \text{INTEG}(\text{cosecha de caña} + \text{importación de caña} - \text{caña para producción} - \text{exportación de caña}, \text{INI Caña}) \quad (5)$$

$$\text{caña para producción} = \text{IF} (\text{caña requerida} \leq \text{Caña}) \text{ THEN } (\text{caña requerida}) \text{ ELSE } (\text{IF} (\text{caña requerida} > \text{Caña}) \text{ THEN } (\text{Caña}) \text{ ELSE } (0)) \quad (6)$$

$$\text{caña requerida} = \text{Capacidad de producción} / \text{TASA DE EXTRACCION DE LA CAÑA} \quad (7)$$

$$\text{exportación de caña} = \text{IF} (\text{Caña} < \text{caña requerida} * 0.5) \text{ THEN } (0) \text{ ELSE } (\text{IF} (\text{Caña} * \text{AJUSTE EXPORTACION E IMPORTACION} > \text{caña requerida}) \text{ THEN } (\text{Caña} * \text{AJUSTE EXPORTACION E IMPORTACION} - \text{caña requerida}) \text{ ELSE } (0)) \quad (8)$$

¹ Un nivel se escribe en Vensim en forma de ecuación con la palabra INTEG. En las ecuaciones se agregan algunas palabras reservadas del Vensim para indicar funciones tales como el IF THEN ELSE (condicional) PULSE (pulso), AND (y lógico), INTEGER (valor entero), etc.

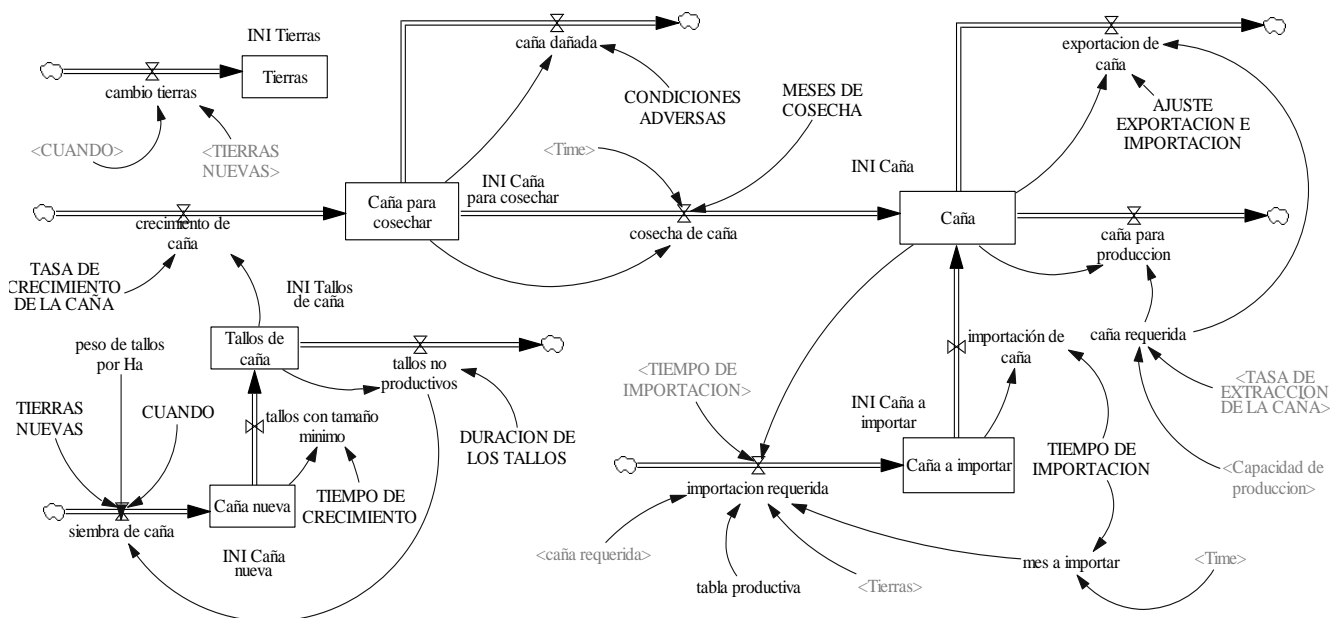


Fig. 2. Estructura para la caña

El nivel Caña a importar acumula la cantidad de caña que se espera importar, con flujo de entrada importación requerida y flujo de salida importación de caña (la importación ocurre cuando la cosecha de caña es menor que la caña requerida por la industria de producción de azúcar y viene determinada por la cantidad (Nivel) de Caña a importar y el TIEMPO DE IMPORTACION), según lo indicado en las ecuaciones (9) a (11).

$$\text{Caña a importar} = \text{INTEG}(\text{importación requerida} - \text{importación de caña}, \text{INI A importar}) \quad (9)$$

$$\text{importación de caña} = \text{A importar} / \text{TIEMPO DE IMPORTACION} \quad (10)$$

$$\text{importación requerida} = \text{IF}((\text{tabla productiva}(\text{mes a importar}) * \text{Tierras} <\text{caña requerida}>) : \text{AND}: (\text{Caña} * \text{TIEMPO DE IMPORTACION} <\text{caña requerida}>)) \text{ THEN } (\text{caña requerida} - \text{tabla productiva}(\text{mes a importar}) * \text{Tierras}) \text{ ELSE } (0) \quad (11)$$

La tabla productiva es una relación no lineal dada por los pares de puntos [(0,0),(0.083,5.01),(0.166,4.46),(0.25,4.07),(0.333,3.69),(0.416,3.48),(0.5,0),(0.583,0),(0.665,0),(0.748,0),(0.831,0),(0.914,0),(1,0)] de donde se obtiene la productividad de la tierra durante un mes dado.

El nivel Caña nueva aumenta por el flujo siembra de caña y disminuye por el flujo tallos con tamaño mínimo (plantas de caña de azúcar sembradas en las tierras nuevas

aptas para empezar el ciclo anual de corte) de acuerdo a lo indicado en las ecuaciones (12) a (14).

$$\text{Caña nueva} = \text{INTEG}(\text{siembra de caña} - \text{tallos con tamaño mínimo}, \text{INI Caña nueva}) \quad (12)$$

$$\text{siembra de caña} = \text{peso de tallos por Ha} * \text{PULSE}(\text{CUANDO}, 1) * \text{TIERRAS NUEVAS} + \text{tallos no productivos} \quad (13)$$

$$\text{tallos con tamaño mínimo} = \text{Caña nueva} / \text{TIEMPO DE CRECIMIENTO} \quad (14)$$

El nivel Tallos de caña, que representa la acumulación de los tallos productivos que luego incidirá en el crecimiento de la caña, aumenta por el flujo tallos con tamaño mínimo (ver ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.14**) y disminuida por el flujo tallos no productivos (que son aquellos tallos cuya producción se ha agotado debido a que se cumple su período de vida) de acuerdo a lo indicado en las ecuaciones (15) y (16).

$$\text{Tallos de caña} = \text{INTEG}(\text{tallos con tamaño mínimo} - \text{tallos no productivos}, \text{INI Tallos de caña}) \quad (15)$$

$$\text{tallos no productivos} = \text{Tallos de caña} / \text{DURACION DE LOS TALLOS} \quad (16)$$

El nivel Tierras representa el total de tierras disponible

para la siembra y cultivo de caña de azúcar y varía con el flujo cambio tierras, de acuerdo a lo indicado en las ecuaciones (17) y (18).

$$Tierras = INTEG(\text{cambio tierras}, INI Tierras) \quad (17)$$

$$\text{cambio tierras} = PULSE(CUANDO, 1) * TIERRAS NUEVAS \quad (18)$$

Las TIERRAS NUEVAS se refieren a la cantidad de nuevos terrenos donde se siembra la semilla de la caña de azúcar.

La Fig. 3 muestra el diagrama de flujo correspondiente al nivel Azúcar. Este nivel representa la cantidad de azúcar disponible para el consumo nacional, el cual es incrementado por los flujos producción (que depende de la TASA DE EXTRACCIÓN DE LA CAÑA y la caña para producción) e importación (si el azúcar es menor que el consumo se debe importar) y es disminuido por los flujos consumo (suma del consumo industrial y del consumo poblacional) y exportación (si el Azúcar es mayor que el consumo se exporta), de acuerdo a las ecuaciones (19) a (25).

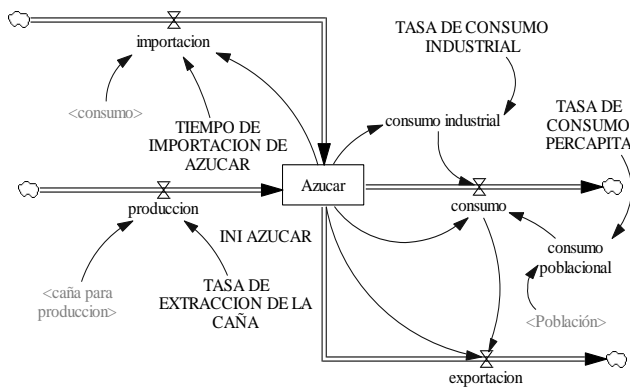


Fig. 3. Estructura para el azúcar

$$Azúcar = INTEG(\text{importación} + \text{producción} - \text{consumo} - \text{exportación}, INI Azúcar) \quad (19)$$

$$\text{producción} = \text{caña para producción} * TASA DE EXTRACCIÓN DE LA CAÑA \quad (20)$$

$$\text{consumo} = \text{consumo poblacional} + \text{consumo industrial} \quad (21)$$

$$\text{importación} = IF(Azúcar < \text{consumo}) THEN ((\text{consumo} - Azúcar) / TIEMPO DE IMPORTACION DE AZUCAR) ELSE (0) \quad (22)$$

$$\text{exportación} = IF(\text{consumo} < Azúcar) THEN (Azúcar - \text{consumo}) ELSE (0) \quad (23)$$

$$\text{consumo industrial} = Azúcar * TASA DE CONSUMO INDUSTRIAL \quad (24)$$

$$\text{consumo poblacional} = Población * TASA DE CONSUMO PER CÁPITA \quad (25)$$

La Fig. 4 muestra el nivel Población conformado por un flujo de entrada, nacimientos, que crece de acuerdo a la NATALIDAD y un flujo de salida, muertes, controlado por la MORTALIDAD, según las ecuaciones (26) a (28)

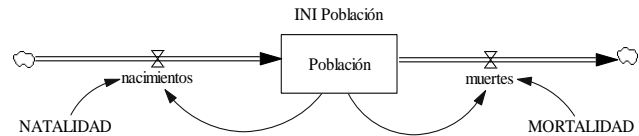


Fig. 4. Estructura para la población

$$Población = INTEG(\text{nacimientos} - \text{muertes}, VI POBLACION) \quad (26)$$

$$\text{nacimientos} = NATALIDAD * Población \quad (27)$$

$$\text{muertes} = MORTALIDAD * Población \quad (28)$$

La Fig. 5 muestra el diagrama de Forrester (1961) para representar los centrales azucareros. El nivel Capacidad de producción es aumentado por el flujo capacidad añadida y disminuido por el flujo capacidad retirada, según lo indicado en las ecuaciones (29) a (31).

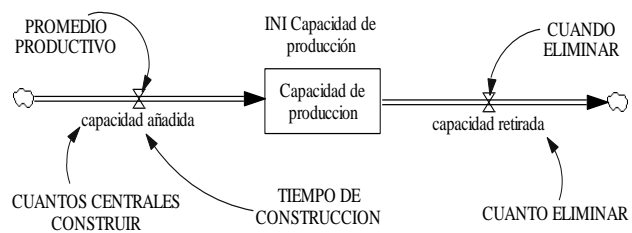


Fig. 5. Estructura para los centrales azucareros

$$Capacidad de producción = INTEG(\text{capacidad añadida} - \text{capacidad retirada}, INI Capacidad de producción) \quad (29)$$

$$\text{capacidad añadida} = PULSE(CUANDO INCORPORAR, 1) * CUANTOS CENTRALES CONSTRUIR * PROMEDIO PRODUCTIVO \quad (30)$$

$$\text{capacidad retirada} = PULSE(CUANDO ELIMINAR, 1) * CUANTO ELIMINAR \quad (31)$$

Tabla 4. Algunos parámetros del modelo

Parámetro	Valor y Unidades
CONDICIONES ADVERSAS	0.125 1/Mes
INI Tierras	111400 Ha
INI Caña para cosechar	2e+006 Tn
INI Caña	2e+006 Tn
INI Caña a importar	3.25e+006Tn
INI Caña nueva	0 Tn
INI Tallos de caña	2e+006 Tn
INI Azúcar	75000 Tn
INI Población	24654700 hab
INI Capacidad de producción	178738 Tn/Mes
TIEMPO DE IMPORTACION	2 Meses
TASA DE EXTRACCIÓN DE LA CAÑA	0.09 1/Mes
TASA DE CONSUMO PERCAPITA	0.0012489 Tn/hab/Mes
TASA DE CONSUMO INDUSTRIAL	0.65 1/Mes
TASA DE CRECIMIENTO DE LA CAÑA	0.28 1/Mes
TIEMPO DE CRECIMIENTO	5 Meses
DURACION DE LOS TALLOS	240 Meses
TIEMPO IMPORTACION DE AZUCAR	2 1/Mes
CONDICIONES ADVERSAS	0.125 1/Mes
MESES DE COSECHA	5 Meses
PROMEDIO PRODUCTIVO	12767.14Tn/Centrales/Mes
NATALIDAD	0.18 1/Mes
MORTALIDAD	0.03 1/Mes

4 Resultados de las simulaciones

4.1. Simulación base

El modelo se corrió para 144 meses, utilizando el método de integración numérica RK4. Los valores de los parámetros utilizados en la simulación base, que fueron recolectados de diversas fuentes de información, se muestran en la Tabla 4 (los parámetros no especificados tienen un valor cero en la simulación base y son activados en los escenarios de acuerdo al caso).

La Fig. 6 muestra el comportamiento del nivel Caña para cosechar. Se observa que el proceso de acumulación se da entre los meses de junio y diciembre, dado que el periodo de zafra en Venezuela corresponde a los meses de enero a mayo. La Fig. 8 particulariza el comportamiento del nivel Caña para cosechar en el periodo comprendido entre los meses 24 y 36 (un año), donde se observa claramente la zafra los primeros meses y el crecimiento de la caña hacia la segunda mitad del año.

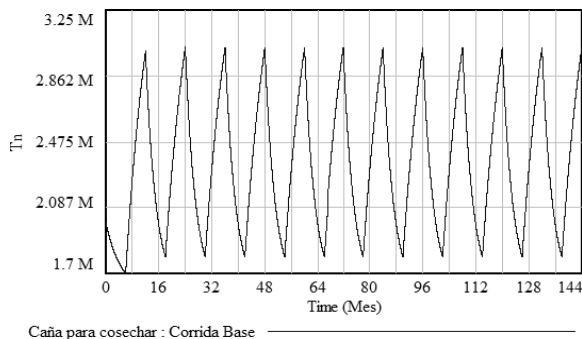


Fig. 6. Nivel Caña para cosechar, simulación base

La Fig. 7 muestra el comportamiento del flujo cosecha de caña para un año (en la Fig. 8 se particulariza los meses del 24 al 36, año 3). Se observa que el flujo de junio a diciembre es nulo.

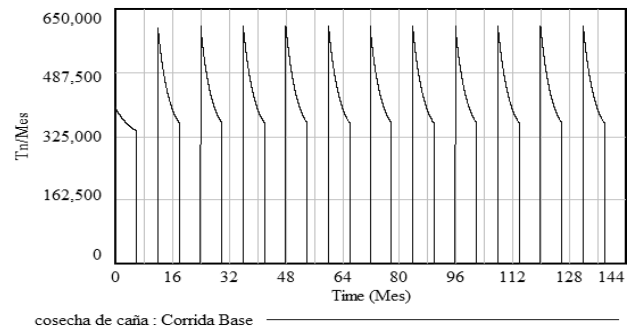


Fig. 7. Flujo cosecha de caña, simulación base

El comportamiento observado en la Fig. 7 se logra a través de la siguiente formulación lógica (ver ecuación (3)): La diferencia entre el tiempo transcurrido, dividido entre 12 y el entero (por truncamiento) de dicho tiempo transcurrido representa la fracción transcurrida del año. Si es positiva y menor que 0.5 se cosecha, de lo contrario no hay cosecha de caña.

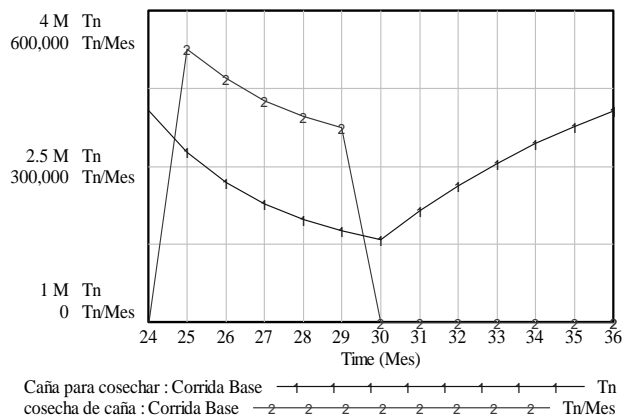


Fig. 8. Flujos caña para cosechar y cosecha de caña para un año, simulación base

La cosecha de caña para el mes de enero es de aproximadamente 585130 Tn y para el mes de mayo, último mes de cosecha, es de 417797 Tn aproximadamente. Debido a que se requiere utilizar al máximo las capacidades instaladas de la industria azucarera en Venezuela, que aproximadamente es de 178740 Tn de azúcar al mes o lo que equivale a una capacidad de molienda de 1986000 Tn de caña de azúcar al mes, se debe importar la cantidad de caña de azúcar faltante.

La producción de caña de azúcar en Venezuela no es suficiente para cubrir la demanda. En el mes 25 la cosecha alcanza su máximo valor de 585130 Tn de caña de azúcar, y se requiere entonces importar 1400869 Tn restantes. La Fig. 9 muestra el comportamiento del flujo importación de caña, observándose que la importación disminuye cuando empie-

za la cosecha y vuelve a crecer cuando ésta culmina.

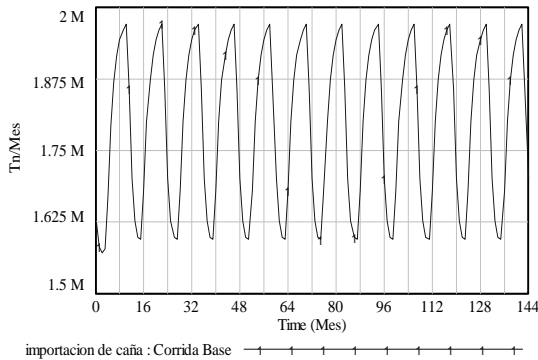


Fig. 9. Flujo importación de caña, simulación base

La Fig. 10 muestra el comportamiento del nivel Caña, el cual aumenta su valor durante el período de zafra.

La población pasa de un valor inicial de 24654700 habitantes a unos 30000000 de habitantes aproximadamente debido a que los nacimientos superan las muertes (realimentación positiva dominante).

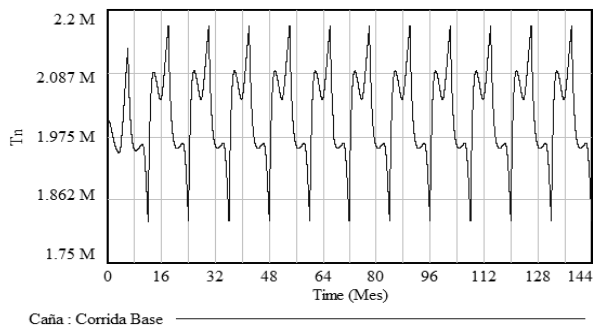


Fig. 10. Nivel Caña, simulación base

4.2. Validación y verificación del modelo

La validación y verificación del modelo fue realizada con las siguientes pruebas (Sterman, 2000):

Estructura del modelo: Ningún nivel puede ser menor que cero, en particular, para el modelo elaborado no es lógico referirse a inventarios de azúcar o de caña de azúcar negativos, por ello el modelo considera la validación de la no negatividad de estas variables.

Evaluación de los parámetros: Todos los parámetros utilizados recogen un significado clave en lo observado en el sistema real, la mayoría soportados con fundamentos estadísticos. Para aquellos valores supuestos, se realizó el correspondiente análisis de sensibilidad.

Condiciones extremas: a) Si la importación de caña y la cosecha de caña son cero, la producción de azúcar cae rápidamente a cero, pues no habría materia prima, el nivel Azúcar se mantiene igual a la cantidad importada. b) Si la importación de caña y la importación de azúcar se hacen cero, la caña y el azúcar disminuyen, de acuerdo a lo esperado. c) Al aumentar la cosecha de caña 10 veces, hay exportación de caña como es esperado. d) Al aumentar el

tiempo de importación a 20 meses, el nivel caña disminuye mientras se lleva a cabo la primera importación, luego de lo cual el modelo se ajusta a la situación obteniéndose el comportamiento esperado. Estas pruebas conducen a la conclusión de que el modelo propuesto es robusto.

4.3. Análisis de sensibilidad

Se plantearon diferentes cambios en los parámetros, en especial los que fueron supuestos, y se observaron los cambios en los niveles que son afectados. Por razones de espacio se muestran sólo algunos de ellos.

- Duración del tiempo de crecimiento de los tallos 4 y 6 Meses: El nivel Caña para cosechar mantiene valores similares durante el tiempo de simulación a pesar de cambios en la duración del tiempo de crecimiento de los tallos.
- Tasa de extracción de la caña = 0.08 y 0.10: El nivel Azúcar varía mucho en los primeros 16 meses y posteriormente se estabiliza.
- Tiempo de importación = 0.20 y 1 mes: Se observó variabilidad en la respuesta del modelo, por lo que el comportamiento del modelo es sensible a este parámetro.
- Tiempo de importación de azúcar = 1, 2 y 3 meses: El comportamiento del flujo importación y el del nivel Azúcar varía muy poco en los tres casos estudiados, por lo que el comportamiento del modelo es poco sensible a este parámetro. Acá haría falta agregar a la estructura elementos que recojan el descontento que pudiera ocurrir producto de la escasez, pero esto queda propuesto para futuros trabajos.

5 Escenarios

- Escenario 1: Se incorporan 3 centrales azucareras a partir del mes de enero de 2013, ó mes 37 de la simulación, lo cual corresponde a un incremento en la capacidad de producción nacional.

La Fig. 11 muestra la respuesta de los consumos ante el aumento de la capacidad de producción, donde a partir del mes 37, dado el incremento en la producción de azúcar, el consumo industrial aumenta. El consumo poblacional es satisfecho completamente sin producirse escasez.

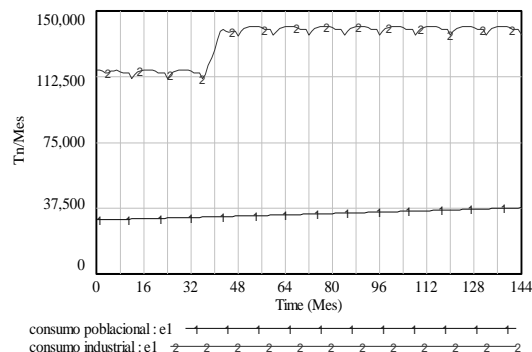


Fig. 11. Consumos, Escenario 1

Debido al aumento de la capacidad de producción en el mes 37 y debido a que se requiere utilizar toda la capacidad de producción, entonces aumenta la importación requerida de caña, como se muestra en la Fig. 12.

- **Escenario 2:** Debido a control gubernamental se disminuye el consumo industrial a 55% y se incorporan 3 centrales azucareras en el mes de abril del 2013 (mes 40 de la simulación).

Este cambio hace que exista mayor cantidad de azúcar disponible proveniente de la producción nacional destinada al consumo poblacional y, por lo tanto, no hay importación.

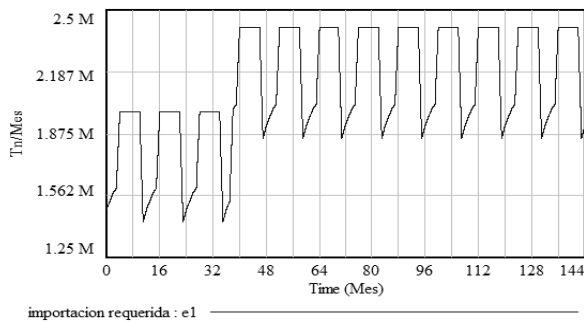


Fig. 12. Flujo importación requerida, Escenario 1

- **Escenario 3:** Se propone la incorporación de 30000 Ha de tierras en el mes de abril del año 2013 (mes 40 de la simulación).

La Fig. 13 muestra las variaciones de los niveles Caña y la Caña para cosechar debido a este incremento de las tierras: el nivel Caña aumenta un 7.2%, mientras el nivel Caña sembrada aumenta un 22% en promedio.

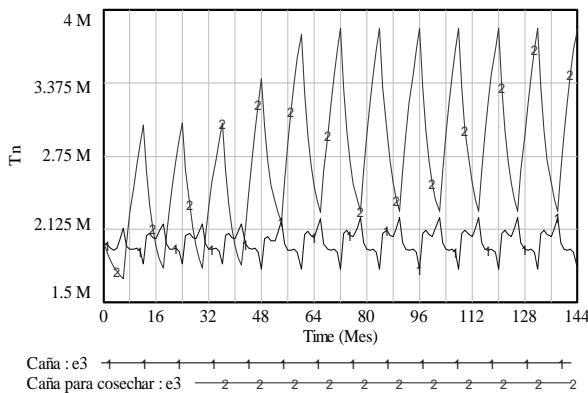


Fig. 13. Niveles Caña y Caña para cosechar, Escenario 3

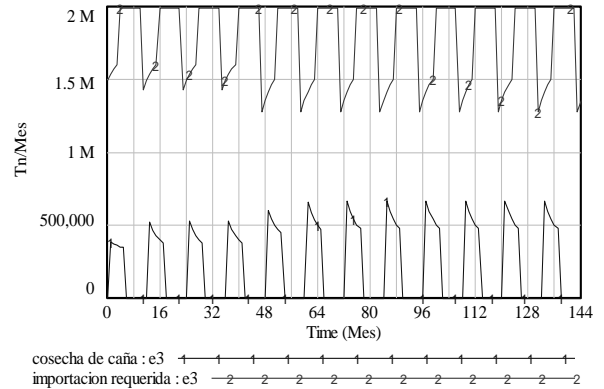


Fig. 14. Flujos cosecha de caña e importación requerida, Escenario 3

La Fig. 14 muestra la respuesta de los flujos cosecha de caña e importación requerida, donde se observa que después del mes 40 el flujo cosecha de caña aumenta debido a la mayor disponibilidad de caña en la tierra para los tiempos de la zafra, alcanzando sus mayores valores luego del mes 56, cuando se han cumplido las demoras asociadas al crecimiento de las semillas (5 meses) y al crecimiento requerido para ser cortada (12 meses). El flujo importación requerida disminuye debido al aumento en la cosecha.

- **Escenario 4:** Se habilitan 30000 Ha de tierras nuevas en el mes de junio del 2013 (mes 42 de la simulación) y 2 centrales en el mes de abril del 2014 (mes 52 de la simulación).

La Fig. 15 muestra el comportamiento del nivel Tallos de caña y el nivel Capacidad de producción, que son aumentados en los meses 42 y 52 respectivamente. Se observa que el nivel Tallos de caña presenta un crecimiento suavizado hacia su nuevo objetivo debido a la demora asociada al crecimiento de las semillas, a diferencia de la capacidad de producción que aumenta en forma de escalón, ya que la incorporación es inmediata.

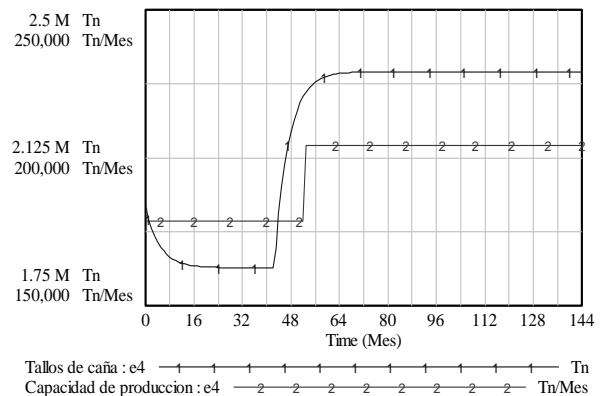


Fig. 15. Tallos de caña y Capacidad de producción, Escenario 4

La Fig. 16 muestra el comportamiento del nivel Caña y del flujo importación de caña. Se observa que el nivel au-

menta, al igual que el flujo, debido a que los requerimientos por parte de las nuevas centrales incorporadas superan al incremento en la cosecha de caña.

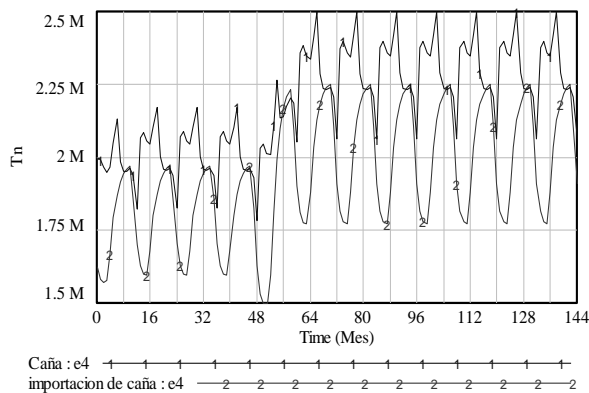


Fig. 16. Nivel Caña y flujo importación de caña, Escenario 4

- **Escenario 5:** Se eliminan 28000 Tn/Mes de producción de azúcar, que equivalen al 15% de la producción nacional, en el mes de abril del 2013 (mes 40 de la simulación).

Debido a la disminución de la capacidad de producción, el nivel Azúcar disminuye a partir del mes 40, como se observa en la Fig. 17. Al haber menor cantidad de azúcar acumulada se debe recurrir a mayor importación, lo cual se refleja en la Fig. 18.

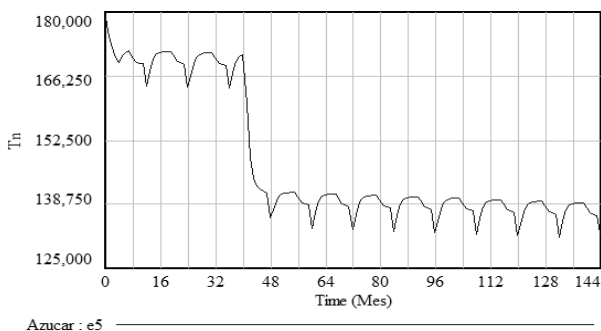


Fig. 17. Nivel Azúcar, Escenario 5

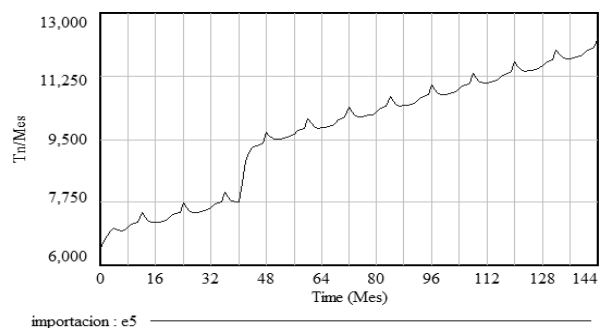


Fig. 18. Flujo importación de azúcar, Escenario 5

6 Notas finales

Los resultados obtenidos muestran que la importación de azúcar puede ser disminuida o eliminada, abasteciendo completamente el mercado azucarero venezolano, con la incorporación de 3 centrales azucareras con una capacidad productiva promedio de 12800 Tn/Mes.

Adicionalmente, se requeriría disponer de 300000 hectáreas de terreno destinadas a la producción de caña para abastecer de materia prima al mercado, cubriendo así su capacidad instalada. Es importante considerar la demora de los 17 meses requeridos para la primera zafra, lo cual obligaría, durante este tiempo a la importación de la caña de azúcar.

Debido a que la zafra ocurre de enero a mayo y a las dificultades inherentes al almacenamiento de caña, durante estos meses se debe producir el azúcar para abastecer al país todo el año, de lo contrario se requeriría importar materia prima o azúcar.

El modelo propuesto podría ser mejorado mediante la inclusión de efectos aleatorios asociados las condiciones adversas, ya que en algunas ocasiones los fenómenos climáticos pueden afectar en mayor y, en otras ocasiones, en menor grado el cultivo y la cosecha de caña de azúcar. También podría mejorarse, mediante la elaboración de una estructura que permita representar cada central azucarera y su respectiva capacidad de producción, es decir, desagregándolo, para evitar valores de parámetros basados en el promedio de producción, haciendo más realista la incorporación y desincorporación de las centrales azucareras.

Referencias

- Agroinformación, El Cultivo de la Caña de Azúcar, 2002. Se encuentra en <http://www.abcagro.com/herbaceos/industriales/canaazucar.asp>. Fecha de consulta: 11 de febrero de 2010.
- AgrEvo. Se encuentra en <http://www.resnet.net/agrevo/02.html>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2010.
- AGRINova, Agricultura e Innovación, 2007. Se encuentra en <http://www.agrinova.com.ve/content/view/40/50/>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2010.
- El Palmar, 2009. Se encuentra en http://www.elpalmar.com.ve/pages/productos_azucar.htm. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2010.
- Forrester J, 1961, Industrial Dynamics, MIT Press, Boston.
- FUNDACAÑA, Fundación Azucarera, 2009. Se encuentra en <http://fundacana.blogspot.com/2009/11/patrocinantes.html>. Fecha de consulta: 24 de marzo de 2010.
- Index Mundi Venezuela, 2008. Se encuentra en <http://www.indexmundi.com/es/venezuela/index.html#población>. Fecha de consulta: 01 de marzo de 2010.
- INE, Encuesta de seguimiento del consumo de alimentos,

Instituto Nacional de Estadística, 2004. Se encuentra en <http://www.ine.gov.ve/consumo/seleccionconsumo.asp>. Fecha de consulta: 23 de febrero de 2010.

Sterman J, 2000, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Editorial McGraw-Hill, Boston.

Tovar E, 2009, Siembra de caña de azúcar se redujo 14% en tres años, *El Universal*. Se encuentra en http://www.eluniversal.com/2009/08/05/eco_art_siembra-de-cana-de-a1506629.shtml. Fecha de consulta: 18 de febrero de 2010.

Vensim, PLE (Personal Learning Edition) Ventana Systems Inc, 1996. Se encuentra en <http://www.vensim.com/>. Fecha de consulta: 01 de marzo de 2010.

Recibido: 12 de marzo de 2011

Revisado: 10 de junio de 2011

