

ELABORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UN MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS PARA UNA RED DE COOPERACIÓN DE PyMEs

Michalus, Juan Carlos¹, Ibarra, María del Carmen², Batista, Oscar Hugo³.
*Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones.
Juan Manuel de Rosas N° 325. Oberá, Misiones, Argentina (CP 3360).*
E-mail: [1]: michalus@fio.unam.edu.ar; [2]: ibarra@fio.unam.edu.ar; [3]: batista@fio.unam.edu.ar

RESUMEN

La Dinámica de Sistemas constituye una metodología para el estudio y manejo de sistemas complejos, factible de ser aplicada en distintos campos, en particular a los sistemas empresariales.

El objetivo de este trabajo es describir el proceso de elaboración de un modelo de DS para una red de cooperación constituida por un secadero de té y cinco aserraderos radicados en la zona centro de la provincia de Misiones, Argentina y realizar posteriormente análisis de políticas y escenarios a partir del mismo.

Una vez elaborado el modelo siguiendo la metodología usual en Dinámica de Sistemas, se procedió a simular tres escenarios alternativos: funcionamiento de los establecimientos en forma aislada, funcionamiento en red en las condiciones actuales, y en red incrementando la cantidad de residuos de aserrío utilizada.

El modelo de simulación elaborado permitió representar las principales variables involucradas y comprender mejor la dinámica de la cooperación entre las PyMEs componentes de la red. Los principales resultados permiten observar que un establecimiento presenta una restricción de capacidad a la hora de incrementar el volumen de residuos intercambiado a través de la red de cooperación. Los experimentos de simulación indican que esta limitación puede ser superada modificando las proporciones de residuos aportadas por los establecimientos y podrían ser reaprovechados a través de la red de cooperación, en lugar de quemarlos al aire libre, con provechos económicos adicionales para las PyMEs, y con beneficios para el medio ambiente.

Palabras Clave: Cooperación de PyMEs; Dinámica de Sistemas; Modelado; Diagrama Causal; Diagrama de Forrester; Simulación.

ÁREA TEMÁTICA

B-Gestión de las Organizaciones y el Conocimiento Organizacional.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es describir el proceso de elaboración de un modelo de Dinámica de Sistemas para una red de cooperación constituida por un secadero de té y cinco aserraderos de madera radicados en la zona centro de la provincia de Misiones, Argentina, y desarrollar posteriormente un análisis de políticas y escenarios a partir del mismo.

La red de cooperación de PyMEs fue iniciada en el año 2008 por el dueño de un establecimiento dedicado a la elaboración de té negro, ubicado en el municipio de Los Helechos, departamento Oberá, provincia de Misiones, Argentina, con el objetivo de conformar una red inter-sectorial con empresas de aserrado de madera de la zona (pertenecientes a los municipios de Los Helechos, Oberá y Panambí) que pudieran proveer costeros (piezas más inmediatas a la corteza que son eliminadas por el corte al aserrar un tronco en el sentido de su longitud), aserrín, viruta y chips (pequeños trozos de madera, resultantes de un proceso industrial de astillado de costeros y troncos de pequeño diámetro), para ser empleados como combustible alternativo a la leña de bosque nativo utilizada hasta entonces.

El secadero procesa en promedio unas 2.000 t/año de té verde, a partir del cual obtiene 500 t/año de té negro seco. Hasta el año 2007 utilizaba unas 1.000 t/año de leña de bosque nativo como combustible para generar la energía térmica necesaria en el proceso de elaboración. Mediante la red de cooperación con los aserraderos ha reemplazado la leña por costeros (7-8%), aserrín (50-55%), viruta (9-11%) y chips de madera de bosque implantado (23-26%) que obtiene a través de la red de cooperación [1] con sus consecuentes beneficios, no solo individuales sino para el territorio, al eliminar la quema descontrolada de los mismos.

2. METODOLOGÍA

Esta investigación constituye un estudio de caso único, contemporáneo, de carácter holístico. Conformar una muestra lógica, con capacidad de generalización analítica (no estadística), compuesta por seis (6) empresas radicadas en el departamento Oberá de la provincia de Misiones, Argentina, a saber: una (1) empresa elaboradora de té negro asentada en el municipio de Los Helechos, y cinco (5) aserraderos de madera de bosque implantado localizados en los municipios de Los Helechos (3), Panambí (1) y Oberá (1).

Los métodos de recolección de evidencia utilizados fueron: revisión documental, realización de entrevistas múltiples semi-estructuradas, observación directa y uso de artefactos físicos tecnológicos y culturales (grabación de entrevistas) [2, 3]. Las fuentes de información utilizadas fueron las siguientes: a) documentación disponible provista por las empresas (registros de compra de materia prima y de producción); b) entrevistas en profundidad mediante cuestionarios semi-estructurados previamente elaborados [4]; c) visitas del investigador para realizar relevamientos de datos *in situ* en los establecimientos pertenecientes a la red de cooperación para confirmar datos recabados mediante las otras fuentes (referidos a: productos, recursos humanos, infraestructura, proceso productivo y equipamiento, políticas utilizadas por la empresa, ventas, etc.); y: d) archivos multimedia generados (sonido, imagen). Los informantes clave fueron directivos (en general los propios dueños) de las seis (6) PyMEs que conforman la red de cooperación.

Por su parte, los métodos de análisis de la evidencia fueron los siguientes: identificación agrupamiento y clasificación de datos, elaboración de cuadros que agreguen las evidencias para facilitar su interpretación y utilización, búsqueda de factores explicativos clave y patrones de comportamiento.

Una investigación presenta validez constructiva cuando se elabora un análisis previo del contexto conceptual (triangulación teórica), se utilizan distintos métodos para la recogida de la evidencia (triangulación metodológica) y múltiples fuentes de información (triangulación de datos) [2, 3, 5]. En la presente investigación se realizaron las triangulaciones teórica, metodológica y de datos mencionadas.

Las fases de modelado y simulación mediante Dinámica de Sistemas (DS) que se siguieron son las descritas por Araiza Zabala y Sotaquirá Gutiérrez [6], Schaffernicht [7], entre otros, y son las siguientes: definición del problema (modelo mental), conceptualización (elaboración del diagrama de influencias o diagrama causal), formalización en computadora (diagrama de Forrester, para el caso bajo análisis, se decidió utilizar el software Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a, versión académica provista por la empresa Ventana Systems Inc.), comportamiento (simulación informática), evaluación (verificación y validación) y explotación (análisis de políticas y escenarios).

3. ELABORACIÓN DEL MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS

La DS es una metodología para el estudio y manejo de sistemas complejos, tal como los que se encuentran en los negocios y otros sistemas sociales. Los modelos de simulación mediante DS permiten visualizar el comportamiento del sistema y los posibles escenarios que pudieran presentarse

frente cambios en algunas de sus variables para auxiliar al decisor en la toma de decisiones, en particular desde un punto de vista estratégico.

“El objetivo básico de la DS es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Ver cómo diferentes acciones (efectuadas sobre partes del sistema) acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo” [8].

La DS se enfoca en la observación y análisis de las partes de un sistema, sus interrelaciones y su comportamiento emergente. Recurre al conocimiento de expertos y a la observación, y trata de construir modelos dinámicos de un determinado sistema, donde los bucles de retroalimentación y la no linealidad juegan un papel primordial. Considera las interrelaciones entre las variables (las que provocan que al modificarse una variable, se modifique el conjunto). La DS pone énfasis en localizar las variables críticas del sistema complejo e identificar los vínculos causales que existen entre ellas [9].

De ordinario, primero se construye el denominado “diagrama causal”, que muestra la relación entre las diversas variables consideradas (mediante flechas), el que se traduce luego al denominado “diagrama de flujos y niveles” o “diagrama de Forrester”, generalmente mediante la utilización de software. “[...] los software de dinámica de sistemas utilizan stocks [niveles] y flujos, esto hace mucho más fácil la construcción de un modelo computarizado del sistema” [7].

Los “Niveles” son elementos que pueden incrementarse o reducirse, constituyen las variables de estado (se representan mediante un rectángulo). Los “Flujos” son elementos que provocan el aumento o disminución de los Niveles, pueden definirse como funciones temporales. Recogen las acciones resultantes de las decisiones tomadas en el sistema [8]. Se representan por una línea de flujo (tubería) con un parámetro regulador (válvula). Las “variables auxiliares” ayudan a explicitar parámetros y las transformaciones de información necesarias. Representan pasos intermedios para la determinación de las variables de flujo a partir de las variables de nivel [8].

Se ha elaborado un modelo genérico representativo de la dinámica de los aserraderos, el que luego se ajustó y calibró para cada establecimiento particular. El diagrama de influencias para los aserraderos considera las variables siguientes (ver Figura 1):

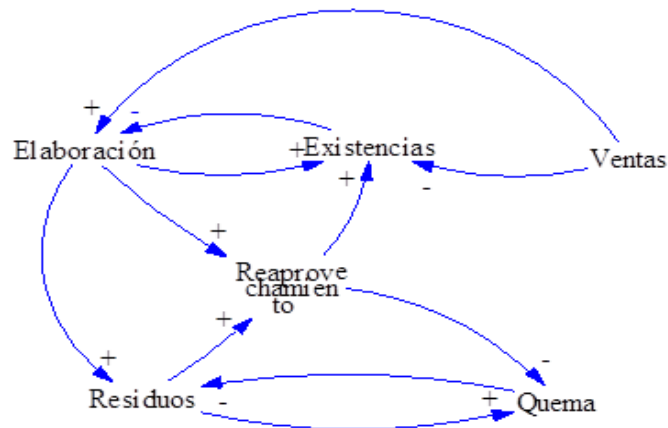


Figura 1. Diagrama de influencias para aserraderos. Fuente: Elaboración propia utilizando Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a.

Para convertir el diagrama causal en un diagrama de Forrester, se especificaron las ecuaciones que representan el comportamiento de cada variable, las relaciones producidas entre ellas y se definieron los tipos de variables que actúan en el modelo con su respectiva simbología [10, 11]. Durante el proceso se han revelado inconsistencias que obligaron a revisar las fases anteriores, hasta obtener finalmente un modelo del sistema programado en el computador [12]. El correspondiente diagrama de Forrester para el Aserradero se presenta en la Figura 2.

Se han adicionado como parámetros un “Factor de reaprovechamiento” que varía entre cero (0) y uno (1), indica la proporción de residuos que se reaprovecha (este factor se precisó luego, para cada establecimiento en particular), y un “Factor de demanda” que permite aumentarla o disminuirla y representar así las posibles variaciones en las ventas. En esta variable (demanda) se ha introducido, además, un factor de aleatoriedad para representar las fluctuaciones normales del mercado.

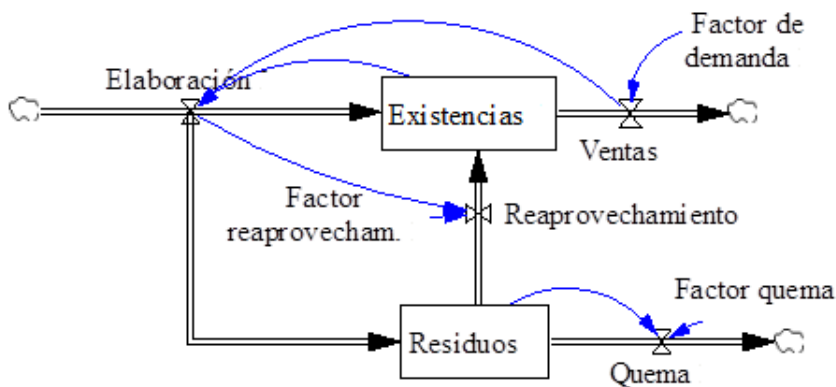


Figura 2. Diagrama de Forrester para aserraderos. Fuente: Elaboración propia utilizando Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a.

Las ecuaciones que componen el Diagrama de Forrester de la Figura 2 representan las políticas de elaboración utilizadas en los aserraderos. Establecen que hasta un cierto nivel de inventario, se produce entre el 100% y el 105% de lo que se vende, y una vez superado ese nivel preestablecido, la producción se reduce en promedio un 20%. Se debe tener en cuenta que se procesa madera con humedad, y se vende madera seca (el proceso de secado se realiza al aire libre o en cámaras de secado según el establecimiento), donde pierde humedad, que corresponde aproximadamente un 42% de su peso. En definitiva, en el proceso de producción se obtiene un 68% de madera húmeda (a la que se debe sumar la madera reaprovechada), y de esta fracción el 42% corresponde a la humedad contenida en la madera, lo que equivale a decir que finalmente se aprovecha el 48% de la madera aserrada. Es decir, para obtener una tonelada (1 t) de madera seca y lista para la venta, es necesario procesar 2,1 t de madera verde.

Los residuos producidos corresponden en promedio a un 24%-26% de costeros y a un 5%-7% de aserrín, virutas y recortes, parte de lo cual se reaprovecha. En los establecimientos más rudimentarios solo se reaprovecha parte de los costeros, y el resto se quema al aire libre, produciendo contaminación (gases, humo y partículas en suspensión). En los dos establecimientos más grandes (aserraderos 4 y 5, con mayores recursos tecnológicos y económicos) además de reaprovechar una parte de los costeros como madera, se procede también a la elaboración de chips, mientras que la parte no aprovechable por esta vía se quema en calderas para producir energía.

Para el secadero de té, el diagrama de influencias elaborado a partir de las variables seleccionadas se presenta en la Figura 3.

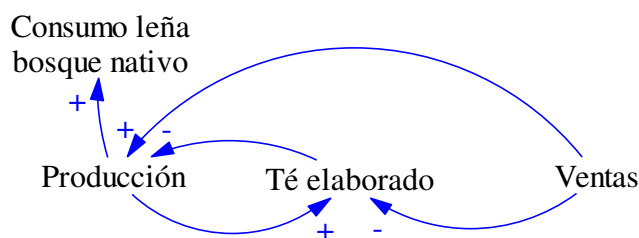


Figura 3. Diagrama de influencias para secadero de té. Fuente: Elaboración propia utilizando Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a.

El diagrama de Forrester correspondiente se muestra en la Figura 4.

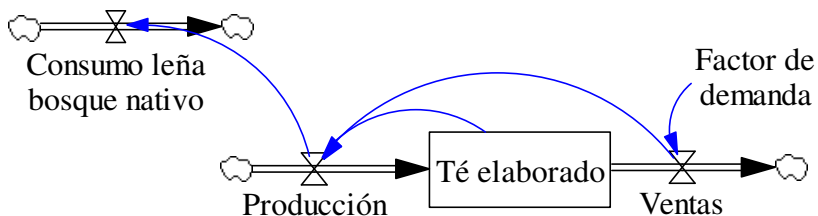


Figura 4. Diagrama de Forrester para secadero de té. Fuente: Elaboración propia utilizando Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a.

Al igual que en el caso de los aserraderos, las fluctuaciones normales del mercado se han reflejado mediante la introducción de un factor de aleatoriedad en la ecuación que representa las ventas. Se ha adicionado un “Factor de demanda” que permite ajustarla y representar así las posibles variaciones del mercado. Aquí se ha tenido en cuenta, además, que el té es un cultivo que presenta estacionalidad, cuya cosecha se produce entre los meses de octubre y mayo de cada año.

Una vez cumplida la etapa de formalización, se procedió al estudio del comportamiento modelo con la finalidad de detectar la existencia de discrepancias frente al sistema real, verificando su consistencia estructural.

La evaluación consistió en someter al modelo a una serie de ensayos y análisis para evaluar su validez y calidad, desde la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis hasta el ajuste de las trayectorias generadas por el modelo y las registradas en la realidad, verificar su correcto funcionamiento mediante la opinión de expertos (en este caso, los directivos de las empresas) y el ajuste de los datos de salida a los datos históricos [12].

El modelo genérico para los aserraderos, por su parte, fue ajustado y calibrado para cada establecimiento particular, mediante el ajuste de los parámetros correspondientes, utilizando para ello la opinión de expertos (los propios empresarios y personal administrativo de rango superior) adicionalmente, se han comparado las trayectorias descritas con datos obtenidos mediante observaciones y a partir de la revisión de documentos suministrados por las empresas.

Asimismo, se han integrado los modelos parciales en uno solo, que representa la cooperación de las firmas (ver Figura 5), donde se ha adicionado los flujos correspondiente a los residuos derivados hacia la PyME elaboradora de té, calibrándolo de acuerdo a su funcionamiento como red de cooperación, en la cual el secadero utiliza como combustible una parte de los residuos que anteriormente se quemaban en los aserraderos.

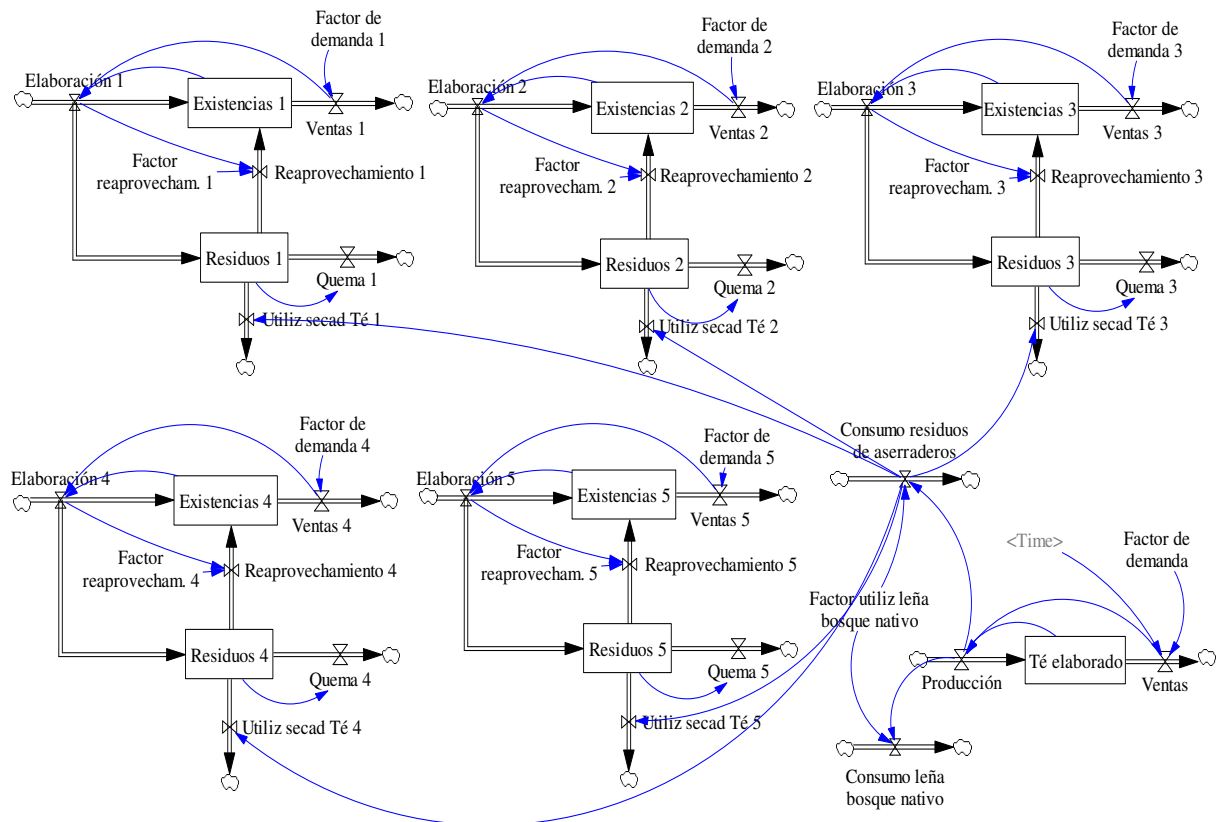


Figura 5. Diagrama de Forrester para la red de cooperación (modelo final). Fuente: Elaboración propia utilizando Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a.

Este modelo se ha ajustado y calibrado mediante la consulta a los directivos del secadero de té, quienes coordinan la red, y se han reajustado las variables correspondientes (ecuaciones y parámetros utilizados) hasta obtener un funcionamiento representativo de la realidad.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis de políticas y escenarios (explotación del modelo) se ha establecido como unidad de tiempo 1 (un) mes, y se ha definido como horizonte temporal para la simulación 60 meses (5 años), se simularon las tres alternativas siguientes:

- Para representar el **funcionamiento de los establecimientos en forma aislada**, se ejecutó el modelo con un factor de utilización de leña de bosque nativo igual a uno (1). Esta simulación aparece en las gráficas y tablas de resultados con el nombre de "Func aislado".
- Para representar el funcionamiento de los establecimientos en red se ejecutó el modelo con un factor de utilización de leña de bosque nativo igual 0.95. Esta simulación aparece en las gráficas y tablas de resultados con el nombre de "Func en red".
- Se simuló una alternativa de funcionamiento que representa un **incremento de los secaderos de té** (por ejemplo: incorporación de otro establecimiento a la red) mediante la variación del Factor de demanda hasta el valor 2. Esta simulación aparece en las gráficas y tablas de resultados con el nombre de "Func en red X 2".

El modelo de simulación elaborado permitió estudiar la dinámica de cooperación y obtener gran cantidad de proyecciones y análisis prospectivos de las diversas variables intervinientes.

La Figura 6 muestra el volumen de residuos que se quema al aire libre en la PyME denominada "Aserradero 1" (para las tres alternativas bajo análisis, ya descritas).

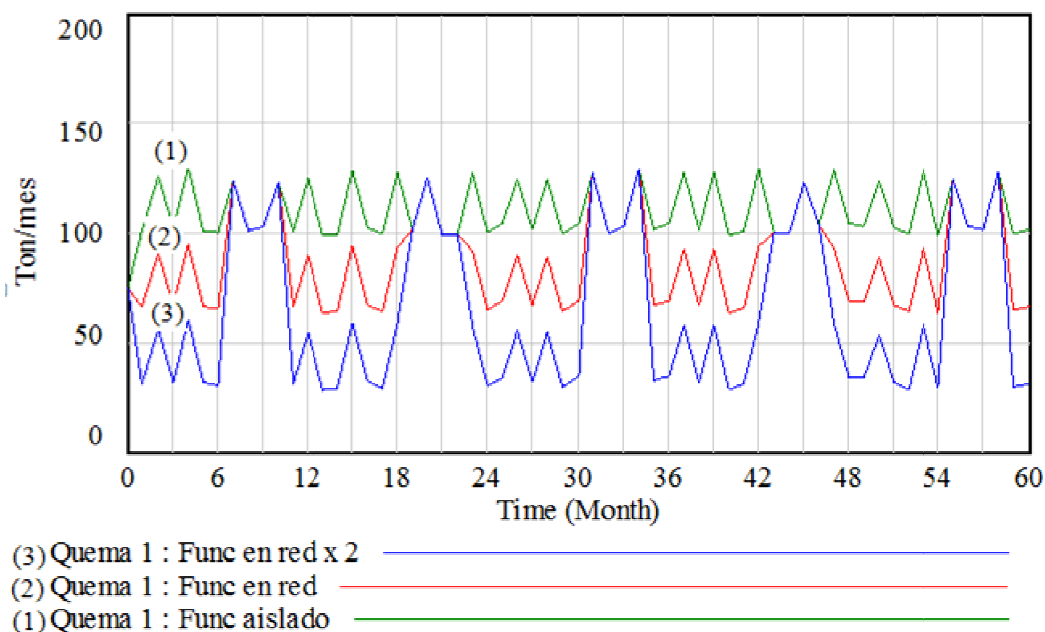


Figura 6. Quema de residuos en el aserradero 1 durante los próximos cinco años. Fuente: Elaboración propia utilizando Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a.

La Figura 6 muestra fluctuaciones que son normales en este tipo de PyME debido a las demoras existentes y a las políticas de inventario que utiliza, y permite contrastar la situación de la empresa en los siguientes escenarios: a) si trabaja los próximos 5 años en forma individual (quebrada (1), color verde), generará unas 120 t/mes de residuos (en promedio), las que quemará al aire libre (*ceteris paribus*); b) mediante el trabajo en cooperación se aprovechará parte de estos residuos (quebrada (2), en rojo), disminuyendo la quema alrededor de 36 t/mes (en los meses de cosecha del té), con la consiguiente disminución del impacto ambiental negativo que esto produce, y con las ventajas asociadas a la venta de esta fracción de residuos; c) si se incorpora otro secadero de té de características similares a las del existente (es decir, se duplica la producción de té), la fracción de residuos reaprovechados como combustible a través de la red de cooperación pasará a ser en promedio de unas 72 t/mes (durante el periodo de cosecha del té), mejorando así el impacto positivo sobre el medio ambiente y los ingresos económicos por venta de los residuos (quebrada (3), en azul). La Figura 7 muestra el comportamiento proyectado para el establecimiento 2 (para las tres alternativas, ya descritas).

Se observa que para el caso de incorporar otro secadero similar a la red, la utilización de residuos es alta (la quema se reduce hasta valores cercanos a cero, ver gráfica azul, indicada con (3) en la Figura 7).

En estas condiciones, el "Aserradero 2" establece el límite porque los residuos disponibles se aproximan a cero (para el caso de incorporar otro secadero de té similar) considerando las mismas proporciones de residuos provenientes de cada uno de los establecimientos de la red. Sin embargo, si se modifican las proporciones que aporta cada establecimiento, sería posible aumentar aún más su utilización a través de la red, ya que existen volúmenes de residuos provenientes de los demás aserraderos que se podrían utilizar, y que actualmente son quemados al aire libre.

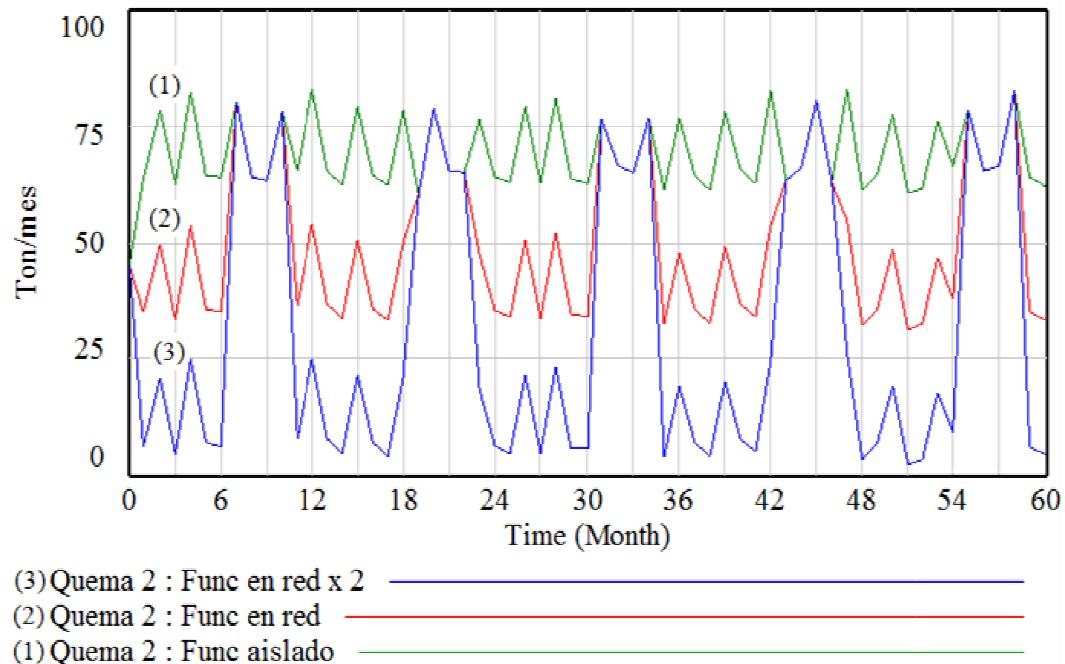


Figura 7. Quema de residuos en el aserradero 2 durante los próximos cinco años. Fuente: Elaboración propia utilizando Vensim PLE for Windows Versión 5.5 a.

5. CONCLUSIONES

La Dinámica de Sistemas permite elaborar modelos de sistemas complejos, representar las variables clave, sus interacciones, los retardos y las realimentaciones del sistema modelado para estudiar su comportamiento emergente.

Se ha elaborado un modelo para la red de cooperación de PyMEs que incluye las principales variables involucradas y sus interrelaciones, mediante el cual se ha logrado representar de manera conveniente la dinámica de cooperación entre las empresas componentes de la red.

El modelo de simulación elaborado permitió obtener gran cantidad de proyecciones y realizar análisis prospectivos de las diversas variables intervinientes, así como reconocer la factibilidad de lograr mayores beneficios para los integrantes de la red si se profundiza la cooperación mediante la incorporación de otros establecimientos que permitan emplear la fracción de residuos aun no utilizados.

6. REFERENCIAS

1. Kairiyama, J. C. (2011). *Entrevista sobre funcionamiento de red de cooperación de PyMEs*. Michalus, J. C. (entrevistador). febrero de 2011. Oberá, Misiones, Argentina.
2. Sosa Cabrera, S. (2003). *La génesis y el desarrollo del cambio estratégico: un enfoque dinámico basado en el momentum organizativo*. Departamento de Economía y Dirección de Empresas. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria, España. <http://www.eumed.net/tesis/2006/ssc/> Acceso: octubre de 2009.
3. Villarreal Larrinaga, O. y Landeta Rodríguez, J. (2010). *El estudio de casos como metodología de investigación científica en dirección y economía de la empresa. Una aplicación a la*

- internacionalización*. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa. Vol. 16, N° 3. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=274119490001> Acceso: julio de 2009.
4. Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. México, D. F. 601 pp.
 5. Yacuzzi, E. (2005). *El estudio de caso como metodología de investigación: teoría, mecanismos causales, validación*. CEMA Working Papers: Serie Documentos de Trabajo N° 296. Universidad del CEMA. Buenos Aires, Argentina. <http://www.cema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/296.pdf> Acceso: octubre de 2008.
 6. Araiza Zabala, G. C. y Sotaquirá Gutiérrez, R. (2004). *Un nuevo enfoque de modelado de estrategias empresariales con Dinámica de Sistemas*. II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Santa Marta, Magdalena, Colombia. <http://fis.unab.edu.co/2encuentros> Acceso: julio 2006.
 7. Schaffernicht, M. (2009). *Indagación de situaciones dinámicas mediante la Dinámica de Sistemas*. [en línea] URL <http://dc307.4shared.com/doc/TG5RhUIA/preview.html>.
 8. García, J.M.(2010). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas*. Edición de autor. 2003. Barcelona, España.
 9. Izquierdo, L. R.; Galán, J. M.; Santos, J. I. y V., D. O. (2008). *Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas*. EMPIRIA, Revista de Metodología de Ciencias Sociales. N° 16. Facultad de Ciencias Políticas y Sociología de la UNED. Madrid, España. http://luis.izqui.org/papers/Izquierdo_Galan_Santos_Olmo_2008.pdf Acceso: marzo de 2010.
 10. Aracil, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, S.A. (ISDEFE). Madrid, España. <http://www.isdefe.es> Acceso: noviembre 2005.
 11. Del Despósito Zúñiga, L. (2010). *Modelado y Simulación mediante Dinámica de Sistemas del funcionamiento general de un establecimiento de Elaboración Primaria de Yerba Mate*. Tesis de Titulación Ingeniero Civil Industrial, Mención Gestión. Universidad del Bío-Bío. . Concepción, VIII Región, Chile..
 12. Zamorano, H. (2004). *La Dinámica de Sistemas y los modelos de simulación por computadora*. [on line]. http://es.geocities.com/galleano_zamorano/sociocib.pdf Acceso: julio de 2008.