

# CAPACITACIÓN EN COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA EN COLOMBIA A TRAVÉS DE MICROMUNDOS

Ricardo Smith<sup>1</sup>, Isaac Dyner<sup>2</sup>, Santiago Arango<sup>1</sup>, Leonardo Bedoya<sup>2</sup>, Patricia Ochoa<sup>2</sup> y Carlos Franco<sup>3</sup>

1. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

2. Posgrado en Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

3. Interconexión Eléctrica S. A. E. S. P.

**RESUMEN** El ambiente de competencia promovido por la actual estructura del Sector Eléctrico Colombiano ha creado oportunidades en la comercialización de energía. Esta actividad puede ser ejercida por un número importante de agentes, que requieren de conocimiento especializado acerca del mercado para soportar su proceso de toma de decisiones y el desarrollo de estrategias.

Teniendo en cuenta las necesidades de conocimiento especializado en aspectos de comercialización requeridas por estos agentes, Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. -ISA- y la Universidad Nacional de Colombia desarrollaron un curso - taller para la capacitación en esta actividad, llamado ENERBIZ. El curso posee como elemento innovador el uso de tecnologías avanzadas para el aprendizaje, incluyendo un Micromundo o Simulador, el cual está basado en un modelo de Dinámica de Sistemas (DS) que refleja el comportamiento del mercado, teniendo en cuenta diferentes condiciones de: hidrología, demanda, competencia, asuntos contractuales, entre otras.

El curso - taller está compuesto por exposiciones teóricas acerca del mercado, de estrategia organizacional y de manejo del riesgo, además de sesiones prácticas para ejercitar e interiorizar los conceptos expuestos. En las sesiones prácticas, el aprendiz, a través de una interfaz amigable, podrá asumir el papel de un comercializador que define sus propias estrategias y conforma sus propios portafolios energéticos, bajo diferentes escenarios de hidrología. De esta manera se podrá aprender acerca del mercado y la influencia que la hidrología tiene sobre su comportamiento antes de enfrentarse a una situación de la vida real.

**ABSTRACT** Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. -ISA- and the National University of Colombia developed a course for learning to trade energy, named ENERBIZ. The course is supported in a microworld or simulator, based in a System Dynamics model. It represents the behavior of the market, taking into account different conditions for hydrology, demand, competence, contracts, etc.

The course is composed of theoretical conferences about the market, organizational strategy and risk management, also some practical sessions intended to improve energy traders skills are included. Using the microworld the users assume the role of an energy trader, who defines his own strategies and make portfolios under different hydrologic scenarios. In this way, he can learn about the market and the influence of hydrologic conditions over its decisions, before making them in the real world.

## 1 INTRODUCCIÓN

El Mercado de Energía en Colombia ha experimentado profundos cambios, se ha liberalizado para dar paso a la libre competencia en los negocios de generación y comercialización de energía. Este nuevo esquema ha planteado una gran complejidad al interior del mercado,

lo cual ha creado la necesidad de capacitación de los agentes que participan en él. Debido a esto, se requiere el uso de herramientas modernas que permitan comprenderlo mejor.

De acuerdo con las nuevas tecnologías en educación y teniendo en cuenta las limitaciones, en especial de tiempo del mundo actual, se hace necesario que las organizaciones que operan

en el entorno de la comercialización de energía eléctrica tengan conocimiento de la complejidad de dicho mercado; para ésto se ha planteado la utilización del enfoque sistémico, el cual ha sido útil para comprender y analizar muchas situaciones complejas en las organizaciones (Senge, 1993).

Este nuevo enfoque permite a las personas interactuar de una manera diferente con los componentes del sistema, entendiendo qué está pasando y visualizando las complejidades del entorno de una manera global, sin perderse en situaciones particulares que distraigan la atención. De esta manera las personas pueden percibir los problemas, las complejidades, las relaciones entre las principales variables, su influencia sobre el sistema, los ciclos de retroalimentación y sus efectos. Cabe destacar la incorporación de la variabilidad hidrológica y sus efectos sobre el comportamiento físico y económico del sistema.

El enfoque sistémico, aplicado a la capacitación se ha realizado de diversas maneras. Una de ellas consiste en estructurar modelos para explicar las funciones de los individuos dentro de la organización y sus correspondientes interrelaciones con los demás integrantes de la misma. Otra forma de capacitación, complementaria con la anterior, consiste en exponer a los individuos con situaciones similares a las que suceden en su labor y de esta manera prepararse para la "vida real". Esta última se ha conseguido a través del uso de Simuladores o Micromundos para la capacitación. Estas herramientas son similares a los simuladores de vuelo, diseñados para la capacitación de pilotos, donde son expuestos a duras pruebas, tales como tormentas, aterrizajes forzosos, entre otros; de manera que ellos alcanzan las habilidades necesarias para el vuelo.

Con esta misma filosofía, se ha construido un micromundo para la comercialización de energía eléctrica con el fin de capacitar a los agentes del mercado, prepararlos para manejar situaciones difíciles y de alto riesgo que puedan enfrentar dentro del ejercicio de esta actividad. El micromundo de la comercialización de energía eléctrica es un modelo de Dinámica de Sis-

temas que representa de manera agregada el funcionamiento del mercado de energía eléctrica en Colombia. El modelo fue desarrollado con el propósito de representar la manera como un agente participa en el mercado, su proceso de toma de decisiones y los efectos sobre su desempeño. El uso del micromundo no consiste solamente en ejecutar un programa de computador, es todo un taller en el que se hace una introducción al mercado, se realizan algunas simulaciones y se lleva a cabo una retroalimentación que tiene como fin aprender haciendo, es decir, capacitar acerca del mercado a través de la utilización de la herramienta desarrollada.

En este artículo se presenta una breve introducción al uso de micromundos, posteriormente se muestra cómo está representado el mercado eléctrico colombiano, definiendo el micromundo a través de sus componentes, incluyendo su interfaz visual. Finalmente se presenta la aplicación de la herramienta enmarcada en un curso de capacitación y algunos de sus resultados.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La conformación del parque de generación del sistema eléctrico colombiano esta caracterizada por tener cerca del 70% de su capacidad de generación en plantas hidráulicas, alta variabilidad de los aportes hídricos a los embalses y una baja capacidad de regulación. Esta situación adicionada a disposiciones regulatorias que limitan el manejo del recurso hídrico por parte de los agentes, hacen de este un sistema complejo con dificultades en el entendimiento de las relaciones entre las variables físicas y económicas que lo componen

En un entorno de mercado como el planteado, uno de los aspectos que marca una ventaja competitiva es el conocimiento, una organización que quiera ser sostenible en el largo plazo, debe antes que nada identificar aquellos activos que posee y que pueden representar una ventaja sobre las demás organizaciones. De esta manera, la información, y más aún, la

utilización estratégica y el desarrollo de valor agregado para la organización a partir de dicha información, son fuentes de diferenciación y que se hacen de difícil imitación por la competencia. Todo este conjunto de acciones tendientes a la creación de una ventaja competitiva se puede denominar conocimiento organizacional.

En las organizaciones, el desarrollo del conocimiento puede ser una labor que requiere un gran esfuerzo y en la cual se puede ver implicada hasta la misma supervivencia de la organización. Éstas se mueven en entornos complejos, los cuales no obedecen a reglas fijas y donde la dinámica se va construyendo como resultado de la interacción entre las organizaciones. Debido a esta complejidad, la asimilación de las experiencias al interior de la organización se lleva a cabo de una manera muy lenta, distorsionándose así el proceso de aprendizaje que podría derivarse de tales experiencias.

Otro aspecto que dificulta el proceso de adquisición de conocimiento a partir de las experiencias en la organización, es el manejo del tiempo y el espacio, estas variables hacen que quienes toman decisiones no puedan aprender de sus repercusiones, debido a que las consecuencias de su acción pueden manifestarse mucho tiempo después, además dichas repercusiones pueden ser notadas en sectores diferentes al origen de la decisión.

El proceso de adquisición de conocimiento al interior de una organización puede llegar a ser demasiado lento, e incluso frustrante para sus miembros. El primer factor que retarda dicho proceso es la lentitud con la que se adquieren los conocimientos, debido a la misma complejidad del entorno en el cual se mueve la organización, la cual hace que el decisor pueda tardar varios años en entender las respuestas que éste da a sus decisiones. El otro factor, la desmotivación que puede causar una decisión errada a quienes la han tomado, de alguna manera puede inhibir el proceso de adquisición de conocimiento.

Ante este panorama surgen los simuladores o micromundos como herramientas que pueden, en un momento dado, disminuir los impactos del complejo ciclo de adquisición

del conocimiento, y en algunos casos, hasta los pueden eliminar. Básicamente estas herramientas reúnen dos características deseables para emprender la dura tarea de aprender. La primera de ellas, y quizá la más importante, es la capacidad de reflejar los aspectos fundamentales del entorno en que se mueve la organización y simularlo de manera que se pueda recortar en tiempo y espacio el efecto que determinadas acciones pueden tener para la organización, creándose así lo que se denomina un laboratorio organizacional. Una vez definido el laboratorio organizacional, la segunda característica resulta demasiado obvia, al interior de dicho laboratorio, los decisores pueden simular el efecto que sus acciones tienen sobre la organización sin amenazas y sin la presión de que puedan causar efectos negativos sobre ella.

En la siguiente sección se estructura de manera clara el entorno en donde se mueve una organización que se dedica a la comercialización de energía en Colombia, con el fin de identificar la complejidad de dicho entorno y la viabilidad del desarrollo de un micromundo.

### 3 CONTENIDO

#### 3.1 Comercialización de energía eléctrica en Colombia

El negocio de comercialización tiene como actividades la compra y venta de energía. Los clientes de las empresas comercializadoras son los usuarios con demanda regulada y no regulada, otros generadores o comercializadores y la Bolsa de energía. Los comercializadores tienen gran libertad para firmar un contrato, basta con que al aplicar las reglas del mismo, se pueda establecer un precio y una cantidad a nivel horario. Los tipos de contratos más comunes son los contratos Pague lo Contratado y los Pague lo Demandado con y sin tope. El balance entre compras y ventas de contratos se realiza en la Bolsa al precio que ésta determina hora a hora.

Para la liquidación de las transacciones, se tiene en cuenta la información de los contratos firmados y el informe de la operación. Para poder participar en el Mercado Mayorista MM, los agentes están obligados a presentar garan-

tías financieras determinadas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG -.

La ley 142 de 1994 (Ley de Servicios Públicos) y la ley 143 de 1994 (Ley Eléctrica) dan el soporte constitucional al mercado eléctrico. Con la Ley 142 de 1994 se crea el ambiente de mercado y competencia, se fortalece el sector eléctrico y se delimita cual es el papel del Estado; mientras con la Ley 143 de 1994 se regula la actividad de Comercialización de electricidad y demás actividades del sector. La entidad encargada de la regulación es la CREG. Esta entidad ha limitado la actividad de comercialización de energía de manera que ninguna empresa pueda atender más del 25 % de la demanda.

El Mercado de energía en Colombia presenta características que influyen en la comercialización de energía. Algunas de las más importantes son la presencia de grandes inversiones, con altos costos hundidos, la presencia de monopolios naturales, economías de escala y algunos casos de integración vertical de las empresas.

En este contexto, las empresas de comercialización están sometidas a riesgos de diferentes tipos, tales como la variación de los precios de energía en la Bolsa y en contratos, la cartera morosa existente en el sector, los riesgos regulatorios, la competencia por el mercado y las restricciones del sistema. El Sector Eléctrico Colombiano, posee altas incertidumbres, en especial en cuanto a la hidrología, debido a que el parque de generación posee alta participación hidráulica, alrededor del 70%. Todos estos aspectos ponen de manifiesto la necesidad de capacitación de alto nivel para los agentes comercializadores de energía eléctrica en Colombia.

### 3.2 Micromundos

El esquema actual de mercado para la energía eléctrica ofrece algunas oportunidades para llevar a cabo un buen desempeño, supeditado a la adquisición, por parte de los agentes, de la preparación técnica y empresarial necesaria para explotar dichas oportunidades, haciendo de esta manera más competitivo el mercado.

En términos generales, los agentes partici-

pantes en el negocio de comercialización de energía requieren contar con una adecuada preparación para el análisis del riesgo y los procesos de toma de decisiones, con el propósito de aprovechar las oportunidades que ofrece este nuevo mercado. En ambientes de competencia, para el entrenamiento de los agentes es conveniente poseer herramientas adecuadas para el análisis, con lo cual éstos estarán en posición de identificar o desistir de las oportunidades presentes en la vida real a través de la representación de ésta mediante modelos.

En este contexto, los micromundos normalmente hacen parte de programas de capacitación que tienen por fin explicar las condiciones del entorno organizacional y el entrenamiento de sus integrantes (activos y potenciales) en alguno de los aspectos o actividades en las cuales interviene la entidad.

En los últimos 20 años, con el avance de la tecnología computacional, los Micromundos o juegos de simulación han sido utilizados de manera intensiva como instrumentos para el aprendizaje y la capacitación. Algunos de los mas representativos son:

People Express, basado en el caso de la compañía aérea del noreste norteamericano, que en cinco años llegó a ser líder en utilidades y porción del mercado; pero en un corto período de tiempo se quebró, por medio del cual se pretende que el usuario desarrolle sus habilidades de asignación de recursos en una empresa (Senge & Lannon, 1990).

El juego de la cerveza, simulador creado a partir del juego del mismo nombre utilizado para entender complejidad y estructuras en la cadenas productivas (Machuca & Del Pozo, 1997).

Oil Producers, diseñado para experimentar con estrategias de inversión para incrementar la capacidad de producción del sistema global de petróleo, donde las decisiones son el precio del barril de petróleo y a partir de éste se pueden observar la evolución en la capacidad de producción (Genta & Neville, 1996).

Restaurants Beefeater, que representa el caso de la cadena de restaurantes Beefeater de Inglaterra, la cual creció en corto tiempo y su-

pero a la competencia. En este micromundo el usuario propone su propia estrategia de crecimiento y puede percibir el efecto de dicha estrategia sobre su desempeño.

### 3.3 Modelo en dinámica de sistemas

El micromundo del Mercado de Energía Eléctrica en Colombia está enfocado a la capacitación organizacional de los agentes cuyo papel sea la comercialización de energía. Estos agentes requieren tomar decisiones en cuanto a la compra y venta de energía. El modelo pretende reflejar las complejidades del negocio de comercialización de energía, cuando un agente está integrado sólo se simulará la parte correspondiente a la comercializadora, asociando a ella la demanda tanto en el mercado regulado como en el no regulado.

ENERBIZ - micromundo pretende que los agentes que comercializan energía comprendan conceptos fundamentales como la incertidumbre y complejidad inherente a la actividad de comercialización, la evaluación de portafolios de compra y venta de energía y el riesgo hidrológico al cual están sujetos.

El micromundo está fundamentado en un modelo en Dinámica de Sistemas compuesto por varios módulos independientes, conectados entre sí.

En la Figura 1 se observan los principales componentes del micromundo y la interacción entre ellos. Se modela la evolución de la disponibilidad de energía a través del embalse ofertable agregado, el cual influye sobre la formación del precio de Bolsa y de los precios de contratos. Se tienen en cuenta la interacción entre el comercializador simulado y la competencia, la cual se modela de manera agregada, también se tiene en cuenta la participación de ellos en los mercados no Regulado (usuarios que consumen una cantidad de electricidad por encima de unos topes dados en energía y/o en potencia determinados por la CREG, los cuales pactan libremente los precios de la electricidad) y Regulado (pagan precios fijos por la electricidad). De esta manera se configura el mercado global de energía en Colombia.

Debido a que en el mercado colombiano

existen dos formas de transar energía, a corto plazo a través de la Bolsa o a largo plazo a través de contratos, los precios de la energía en estos dos mercados son módulos importantes para la estructuración del modelo. Además, dicha evolución permite configurar un complejo ciclo de realimentación que da cuenta del desempeño económico de un comercializador en el mercado, tal como lo muestra la Figura 2. Es de especial interés observar el ciclo del precio de Bolsa y el precio de los contratos, ya que, debido a la configuración del sistema colombiano, una variación en el primero repercute en los niveles de contratación, los cuales, en última instancia, crean una variación retardada en los precios de contratos. También se pueden observar los ciclos que relacionan las variables de gestión en Bolsa y en contratos, allí se puede observar como los niveles de contratación, definidos por la estrategia del comercializador, y de alguna manera, por la regulación vigente, además de las variaciones de los precios en los dos mercados, determinan la gestión económica del comercializador. Este sencillo diagrama causal muestra la complejidad inherente al negocio de comercialización.

El modelo considera un módulo de evolución de la demanda y la manera como ella es abastecida por el comercializador simulado y la competencia. También se tiene en cuenta la evolución de los contratos de energía, la liquidación de las transacciones del comercializador simulado, entre otros. A continuación se observan en detalle cada uno de los módulos que configuran el modelo.

**Precio de Bolsa:** Este módulo permite generar el precio de Bolsa, a partir del modelamiento del comportamiento hidrológico del país, incluyendo una aproximación de la ocurrencia de los fenómenos de El Niño y La Niña debido a su importancia sobre el Sector Eléctrico Colombiano. La variable que determina el precio de Bolsa es el embalse ofertable, el cual se ve afectado por la hidrología y la generación de energía, la cual es función de la demanda.

El llamado fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) es un fenómeno que se da como resultado de la interacción entre el océano y

la atmósfera sobre el Pacífico tropical. Se intentan modelar los rasgos fundamentales del ENSO, los cuales pueden ser reproducidos con un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias acopladas de baja dimensionalidad (Vallis, 1986). El modelo que se presenta difiere de otros en el sentido que éste no necesita variaciones forzadas de carácter estocástico o estacional para producir la aperiodicidad, ni dinámica de ondas explícita para explicar las escalas de tiempo, ni influencias de latitudes medias para explicar las variaciones en la intensidad.

Como se ha mencionado, este es un modelo que permite examinar de manera muy simplificada las características más gruesas del fenómeno ENSO. A partir de dicho modelo simplificado se crearon tres hidrologías, las cuales pueden ser seleccionadas por el usuario en el Micromundo y que pretenden mostrar algunos escenarios hidrológicos y preparar a los agentes para un desempeño adecuado ante dichos escenarios.

**Precio de Mercado:** El objetivo de este módulo es definir los precios a los cuales el mercado ofrece los diferentes tipos de contratos. Los tipos de contratos considerados en el micromundo son los contratos pague lo demandado con tope y pague lo contratado. Estos contratos se pueden realizar a 3 meses, un año y tres años. El micromundo permite utilizar dos aproximaciones para la formación del precio. La primera consiste en reflejar los comportamientos del mercado a partir de los datos históricos utilizando análisis estadísticos de la información, esta es la aproximación utilizada en el modelo. La segunda, consiste en utilizar el modelo de Black y Scholes para calcular estos precios. En la Figura 3 se pueden observar las variables que se tienen en cuenta para modelar los precios a los cuales el mercado ofrece los diferentes tipos de contratos. En esta figura también se puede observar como la hidrología posee influencia sobre la determinación de los precios de energía a través de los contratos de largo plazo.

**Demanda de energía:** Este módulo maneja el crecimiento de la demanda de energía

y la forma en que ésta se va incrementando en el Mercado no Regulado (mercado compuesto por usuarios con unos límites de consumo y que pueden pactar libremente sus precios con los comercializadores), según la regulación actual. También se tiene en cuenta la demanda entre agentes, la cual es consecuencia de la actividad de la intermediación en el mercado mayorista. En cada período de tiempo se define la cantidad de energía que está disponible en el mercado y por la cual se va a competir.

**Condiciones iniciales:** Este módulo define el tipo de empresa a partir de las características que el usuario defina al comenzar el juego para determinar su papel en el mercado. Debido al enfoque del micromundo en el negocio de la comercialización el usuario define si es comercializador puro o posee demanda regulada, en cuyo caso debe decir la cantidad. El usuario también define algunas características del sistema como el comportamiento de la hidrología, la evolución de la demanda, el nivel de contratación inicial, entre otras.

**Selección del Mercado:** Este módulo establece las cantidades de energía que el Mercado no Regulado y los agentes del mercado mayorista le compran al agente simulado y al resto del mercado. Estos porcentajes se toman sobre la demanda libre de dicho mercado en cada período. La selección se hace utilizando un modelo de selección discreta conocido como "Consumer Choice", teniendo como parámetros de selección el precio de energía y la inversión en mercadeo, la cual, en última instancia, repercute en el precio que percibe el consumidor, siendo éste menor que el precio inicialmente propuesto por el comercializador simulado. Cabe anotar que esta inversión en mercadeo repercute en las utilidades que obtendrá la comercializadora simulada.

**Niveles de contratación:** Este módulo permite el manejo de las diferentes cantidades de energía pactadas en los diferentes tipos de contratos para la comercializadora simulada, además maneja los balances de compra y venta de energía.

**Liquidación:** A través de este módulo se realiza la liquidación económica del agente si-

mulado. Tal liquidación tiene en cuenta las decisiones que él haya tomado en cada período y las refleja en su desempeño financiero. Este módulo permite mostrar algunos indicadores de la gestión del agente simulado tales como el porcentaje de mercado cubierto y el precio medio al que está adquiriendo la energía, entre otros.

**Presentación de Resultados:** Le permite al usuario visualizar, en cada paso, como va evolucionando el sistema a través de informes que contienen gráficas y tablas. Estos informes se agrupan, según su tipo en informes financieros, operativos y de posicionamiento, los cuales presentan la información de la comercializadora simulada tal como las utilidades netas y acumuladas, la evolución de las ventas y compras de acuerdo al tipo y término del contrato, además se presenta el porcentaje de mercado de la compañía de acuerdo con demanda cubierta. También se tiene un grupo de informes que presentan la evolución de las variables del sistema, tales como el embalse ofertable, los precios de Bolsa y de contratos.

Para la validación de los módulos se utilizaron datos provenientes del mercado de energía en Colombia, a partir de ellos se obtuvieron las relaciones entre las principales variables. Se utilizó la evolución del embalse ofertable y el precio de Bolsa para obtener el último a partir de la evolución del primero. También se utilizaron los precios medios de contratos, según su tipo, para determinar la relación entre estos y otras variables físicas y económicas, se obtuvieron aproximaciones de los precios de los contratos a partir del embalse ofertable, la hidrología, el aprendizaje y la competencia en el mercado. Las variables utilizadas se muestran en la figura 3.

### Especificaciones funcionales

Como se ha mencionado en la sección anterior, el micromundo es una herramienta de aprendizaje enfocada al negocio de comercialización de energía eléctrica en el Mercado de Energía Mayorista de Colombia. Para cumplir con dicho fin, debe poseer funciones que permitan al usuario manejarlo de manera rápida y clara, dándole completo control e información sobre el sistema simulado, creando con ello un

entorno de aprendizaje adecuado y dinámico. Tales funciones se encuentran debidamente organizadas a través de un menú principal, el cual agrupa según su objetivo cada una de las funciones.

**Funciones Generales:** Este grupo de funciones se puede encontrar en la opción del menú principal llamada Archivo, estas funciones son Salir y Avanzadas. La función de avanzadas permite al usuario definir el crecimiento de la demanda regulada y no regulada, la cantidad de demanda regulada que posee y el tipo de hidrología con que hacer la corrida. Estas funcionalidades se muestran en la Figura 4.

**Funciones Específicas:** Estas funciones hacen referencia a aquellas que son propias del micromundo tales como el Control de la Simulación, con este grupo de funciones se define el paso de simulación (tres meses) y el tiempo a simular (diez años). El usuario puede tomar decisiones cada tres meses. En esta primera etapa tanto el paso de la simulación como el tiempo a simular son fijos y el usuario no podrá modificarlos durante el juego. La decisión de paso trimestral se sustenta en el comportamiento hidrológico del país, el cual posee estacionalidad trimestral a lo largo de todo el año. Además, el modelo genera fenómenos climatológicos extremos, con un período de recurrencia aproximado de tres a seis años. También permite la posibilidad de finalizar la simulación de un escenario y comenzar con otro nuevo.

Otro grupo de funciones específicas está conformado por las Decisiones Periódicas que el usuario puede tomar, éstas son de tres tipos, en primer lugar, la decisión relativa al porcentaje sobre las ventas totales que la compañía invertirá en mercadeo, dicha inversión repercutirá en el precio percibido por el mercado no regulado al momento de tomar su decisión de compra; en segundo lugar están las decisiones sobre las ventas de energía, a través de esta opción el usuario podrá definir los precios, en \$/kWh, a los cuales ofrece su energía mediante contratos y la cantidad máxima en potencia (MW), que está dispuesto a vender, para los contratos tipo pague lo demandado, este valor corresponde al tope para ese tipo de contratos; y en tercer lu-

gar están las decisiones sobre compras de energía, con esta opción el usuario podrá definir las cantidades de energía que le va a comprar al mercado. De igual manera que para las ventas, los valores para los contratos tipo pague lo demandado corresponden a los toques de energía a comprar con este tipo de contratos. Todas las decisiones trimestrales de comercialización se aprecian en la Figura 5.

El último grupo de funciones esta conformado por los Reportes, los cuales le permiten al usuario visualizar, en cada paso, cómo va evolucionando su compañía y el sistema. Éstos se agrupan en reportes gráficos y reportes tabulares. Los reportes, tanto gráficos como tabulares se agrupan en financieros, operativos, de posicionamiento y del sistema.

**Funciones de Ayuda al Usuario:** Este grupo de funciones le permite al usuario realimentarse durante el juego y al final de éste, de tal manera que puede adquirir y/o reforzar los conocimientos básicos del mercado de comercialización. Estas ayudas son los Mecanismos de Retroalimentación al Usuario, que son todos los elementos que informan al usuario su desempeño en la simulación, estos son los reportes (gráficas y tablas) y los mensajes basados en el desempeño del usuario; además de los Diagramas Causales, que permiten al usuario entender el funcionamiento del sistema que se simula. También podrá conocer la definición de las variables que intervienen en este y su relación con las demás. De esta manera el usuario podrá observar cuales son las interacciones entre las variables y la forma en que éstas afectan su desempeño, cumpliendo así con su labor de enseñanza. Una muestra del entorno gráfico y tabular de ENERBIZ-micromundo se muestra en la Figura 6

Algunas de las variables que se tienen en cuenta son el precio de bolsa, el embalse ofertable, los aportes de energía al sistema, la evolución de la demanda, entre otras. Una corrida típica del micromundo se ilustra en la Figura 7.

## 4 RESULTADOS

El micromundo hace parte de un curso intensivo de capacitación integral que tiene por fin explicar el mercado de energía eléctrica colombiano y capacitar a sus agentes (activos y potenciales) enfocándose en la actividad de la comercialización de energía. En el micromundo, el usuario representa una empresa de comercialización que tomará sus decisiones y analizará la evolución y el desempeño de su compañía en el mercado de la energía eléctrica.

Con el curso taller se espera que las inferencias acerca del comportamiento del sistema que se obtienen durante la simulación, se traduzcan en una mayor comprensión y dominio de la dinámica del mercado. Los participantes en el curso - taller desarrollarán habilidades en el manejo de portafolios de contratos de energía y consecuentemente en el manejo de capitales de riesgo para exposición al mercado, además podrán conocer las reglas y el funcionamiento del mercado. El micromundo también puede ser utilizado por los municipios para evaluar la viabilidad de convertirse en agentes comercializadores y participar en el Mercado Mayorista de Energía.

El curso - taller se desarrolla en dos días de trabajo en los cuales se llevan a cabo diferentes actividades tales como conferencias, talleres y corridas del micromundo.

La estructura del taller consta de tres grandes partes. La primera consiste de una serie de conferencias que explican el funcionamiento del Mercado de Energía en Colombia, se muestra como ha sido su evolución y cuales son sus principales características. También se explica la actividad de la comercialización de energía con el fin de mostrar cómo se desarrolla esta actividad, qué tipo de acciones se deben tomar y las complejidades inherentes a éste, tales como la evaluación de portafolios y los conceptos básicos de manejo del riesgo a través de contratos. La primera parte también incluye una sección donde se ilustra la negociación de energía a través de contratos de largo plazo, allí se muestran los diferentes tipos de contratación, la forma de liquidación y se hacen ejercicios prácticos. Esta primera parte finaliza con la exposi-

ción de dos casos hipotéticos de las situaciones a las cuales se ve enfrentado un comercializador, las cuales muestran las consecuencias de tomar decisiones incorrectas en el mercado y lo que económicamente pueden representar.

La segunda parte comprende la introducción al uso del micromundo desarrollado. Inicialmente se presentan las bondades del micromundo como herramienta de aprendizaje y el papel que éste desempeña en el taller de capacitación. También se presentan las suposiciones adoptadas en el modelo, las variables consideradas, las decisiones a tomar, además del manejo de la demanda, la hidrología y otros aspectos generales del modelo. Finalmente se ilustra el uso del micromundo, las características de la interfaz del usuario, cómo llevar a cabo una corrida y qué tipo de gráficos e indicadores puede observar el usuario.

La tercera parte consiste en la interacción a través del juego entre los usuarios y el micromundo. Esta parte consiste en dos juegos con el micromundo, los cuales pueden durar cada uno de 2 a 3 horas aproximadamente. Cada juego está conformado por tres fases, en la primera el usuario debe pensar la estrategia que va a desarrollar, identificando claramente cuales son los objetivos de ésta (aumentar la porción de mercado, obtener utilidades siempre crecientes, disminuir los costos de compra de energía, entre otros) y cuáles son las acciones que llevará a cabo para lograrla. La segunda fase consiste en el desarrollo de la estrategia como tal a través de las decisiones que toma el usuario y que se habían definido en la primera fase. La tercera fase consiste en la discusión final acerca de lo sucedido en el juego, en ella se evalúan las estrategias planteadas al comienzo, su desarrollo y sus consecuencias, teniendo en cuenta por qué se dieron o no los resultados esperados. De esta manera, la retroalimentación y la discusión con los demás participantes ayuda a concretar y reforzar las enseñanzas obtenidas a través del juego.

El curso - taller se ha probado con estudiantes de pregrado y posgrado en ingeniería, los cuales presentaron 2 niveles de conocimiento del Mercado de Energía en Colombia. El primer

nivel estuvo conformado por estudiantes con un nivel medio de conocimiento del mercado, en el segundo nivel los estudiantes no presentaban ningún conocimiento del mercado. La respuesta a la participación en el taller de los estudiantes del primer nivel permitió observar el planteamiento de estrategias orientadas a objetivos financieros y de aumento de porción de mercado. En este grupo se nota la utilización del micromundo como herramienta para evaluar estrategias de comercialización. De otro lado, los estudiantes del segundo nivel utilizaron el micromundo como herramienta para adquirir y reforzar los términos y la metodología de funcionamiento del mercado, usándola como herramienta de aprendizaje.

## 5 CONCLUSIONES

ISA y la Universidad Nacional de Colombia han desarrollado un micromundo para el mercado de la energía eléctrica en Colombia, el cual hace parte de un curso - taller cuyo fin es el aprendizaje y entrenamiento de los agentes actuales y potenciales que participan en el Sector Eléctrico Colombiano, dedicados a la comercialización de energía eléctrica.

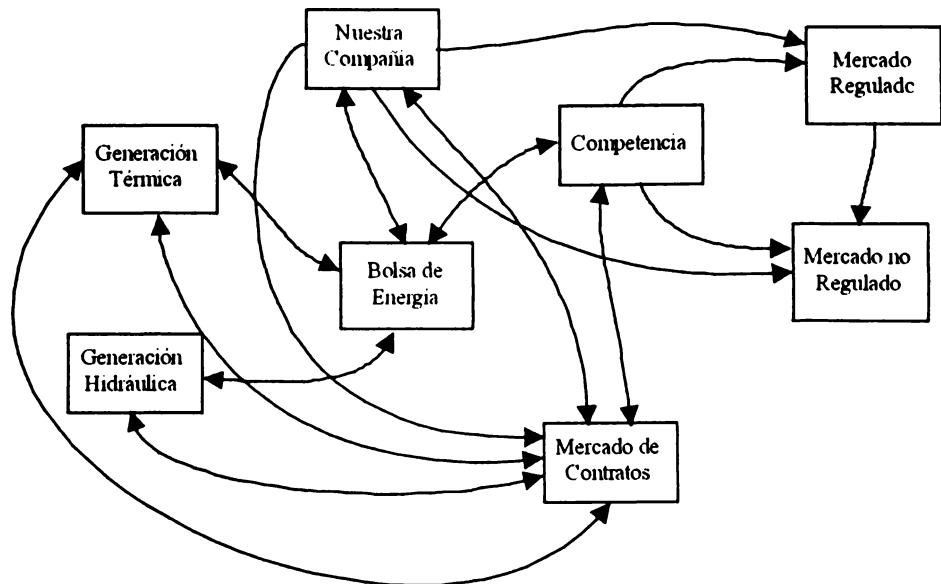
Ante un entorno cambiante y de difícil predicción como el que se presenta en este sector, la alternativa de aprender para adquirir conocimientos que permitan realizar un manejo adecuado de los recursos, en especial las oportunidades que se presentan en un sector predominantemente hidráulico para la generación de energía eléctrica, se plantea como una alternativa más para realizar una gestión acorde con las necesidades de las organizaciones.

El curso - taller está enfocado a la capacitación organizacional de los agentes cuya actividad es la comercialización de energía. En los mercados competitivos, tal como en la comercialización de energía eléctrica, uno de los activos más importantes para agregar valor a las empresas es el conocimiento; la construcción de éste requiere tiempo y esfuerzo por parte de la organización, el micromundo es una herramienta que permite ahorrar esfuerzos en la obtención de dicho conocimiento.

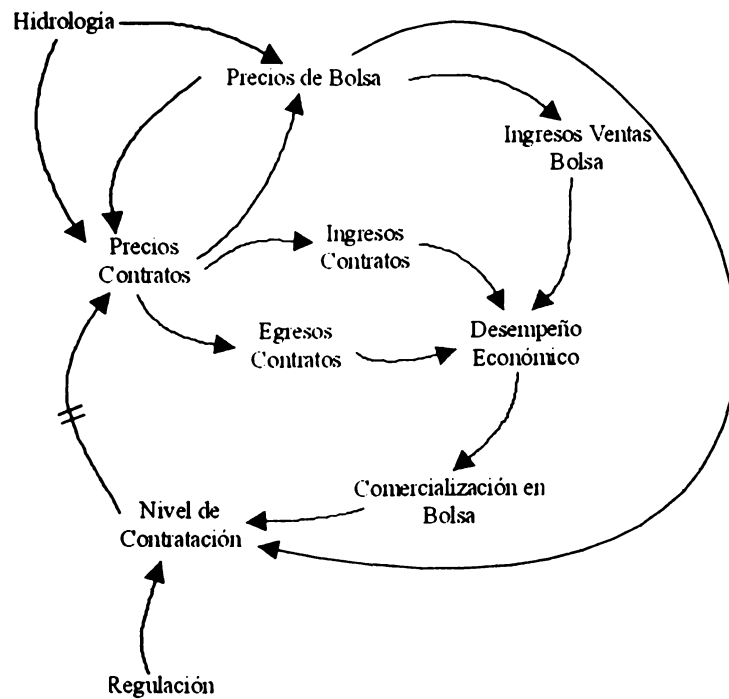
En cuanto a innovación y estrategias de mercado, la comercialización es una de las actividades que más exige preparación técnica. En Colombia, los comercializadores necesitan estar en continuo mejoramiento de sus estrategias dada la alta competencia que se presenta en esta actividad. Esto les obliga a buscar nuevos servicios y productos que les permita aprender y conocer mejor el mercado de energía eléctrica. Algunas de estas necesidades pueden ser suplidas mediante una capacitación que les permita ser más competitivos y estar preparados para tener éxito continuo en la comercialización de la energía eléctrica.

## REFERENCIAS

- CONGRESO DE COLOMBIA. Ley de Servicios Públicos:  
Ley 142. Julio 11, Bogotá, Colombia. 1994a.
- CONGRESO DE COLOMBIA. Ley de Servicios Públicos:  
Ley 143. Julio 11, Bogotá, Colombia. 1994b.
- Dyner, I. y Smith, R.. Microworlds for organisational learning in the colombian electricity market. Multiconferencia Mundial en Sistemas, Cibernética e Informática. USA, 1998.
- Dyner, I. y Smith, R. Microworlds for training electricity traders. Conferencia Internacional en Dinámica de Sistemas. Quebec, Canadá, 1998.
- Franco, C.J. y Camargo, L.A. Simuladores para el aprendizaje en el mercado eléctrico colombiano. Mundo Eléctrico Colombiano. Vol 13, No 35, pp. 108-111, 1999.
- Genta, P. J. y Neville, S. A microworlds of Exploration and Development: Creating a Learning Laboratory for the Oil & Gas Industry. International System Dynamics Conference. Cambridge, Massachusetts. Pp. 174, 1996.
- Machuca, J. A. y Del Pozo, R. The Beer Game, with the possibility of the Use of EDI, through the Internet. International System Dynamics Conference. Pp. 383. Istanbul Turkey. , 1997.
- Senge, P.M. La Quinta Disciplina. Granica S.A., Barcelona, España, 1993.
- Senge, P.M. y Lannon, C. Managerial Microworlds. Technology Review , 1990.
- Vallia, G. K. El Niño: A chaotic dynamical system?. Science. Vol 232., 1986.



**Figura 1** Componentes principales del micromundo.



**Figura 2** Diagrama causal del negocio de comercialización.

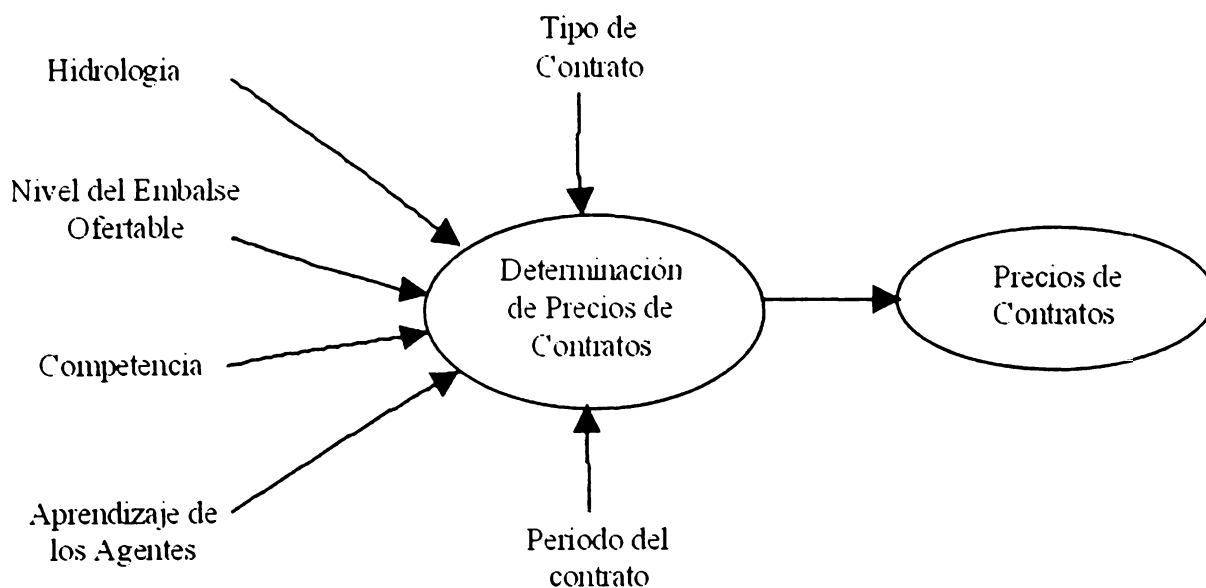


Figura 3 Variables que afectan la evolución del precio de los contratos.

Condiciones Avanzadas

**Demanda del Mercado**  
Crecimiento Anual (%):

**Demanda Regulada (MW)**  
Crecimiento Anual (%):   
Demanda Regulada Propia (MW):

**Tipo de Hidrología**  
☒ Hidrología 1    ☐ Hidrología 2    ☐ Hidrología 3

**Tiempo Máximo entre Trimestres**  
Año 1:     Año 2:   
Re: 1:     Re: 2:

☒ Sin restricciones de tiempo

Modificar Parámetros

Figura 4 Condiciones avanzadas de ENERBIZ - Micromundo.

Decisiones del Trimestre																																											
<b>Compras</b> Pague lo Contratado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cantidad (MW)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 Meses</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>12 Meses</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>36 Meses</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> Pague lo Demandado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tope (MW)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 Meses</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>12 Meses</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>36 Meses</td> <td>55</td> </tr> </tbody> </table>			Cantidad (MW)	3 Meses	10	12 Meses	20	36 Meses	50		Tope (MW)	3 Meses	30	12 Meses	70	36 Meses	55	<b>Ventas</b> Pague lo Contratado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cantidad (MW)</th> <th>Precio (MW)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 Meses</td> <td>100</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>12 Meses</td> <td>54</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>36 Meses</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> Pague lo Demandado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tope (MW)</th> <th>Precio (MW)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 Meses</td> <td>10.00</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>12 Meses</td> <td>21.00</td> <td>55.2</td> </tr> <tr> <td>36 Meses</td> <td>71.75</td> <td>43.5</td> </tr> </tbody> </table>			Cantidad (MW)	Precio (MW)	3 Meses	100	45	12 Meses	54	50	36 Meses	0	0		Tope (MW)	Precio (MW)	3 Meses	10.00	50	12 Meses	21.00	55.2	36 Meses	71.75	43.5
	Cantidad (MW)																																										
3 Meses	10																																										
12 Meses	20																																										
36 Meses	50																																										
	Tope (MW)																																										
3 Meses	30																																										
12 Meses	70																																										
36 Meses	55																																										
	Cantidad (MW)	Precio (MW)																																									
3 Meses	100	45																																									
12 Meses	54	50																																									
36 Meses	0	0																																									
	Tope (MW)	Precio (MW)																																									
3 Meses	10.00	50																																									
12 Meses	21.00	55.2																																									
36 Meses	71.75	43.5																																									
<b>Exposición a Bolsa</b> Compras: <input type="text"/> (MW) Ventas: <input type="text"/> (MW)		<b>Precios del Mercado</b> Pague lo Contratado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>\$/kWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 Meses</td> <td>62.62</td> </tr> <tr> <td>12 Meses</td> <td>60.06</td> </tr> <tr> <td>36 Meses</td> <td>53.37</td> </tr> </tbody> </table> Pague lo Demandado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>\$/kWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 Meses</td> <td>68.17</td> </tr> <tr> <td>12 Meses</td> <td>62.50</td> </tr> <tr> <td>36 Meses</td> <td>63.35</td> </tr> </tbody> </table> Precio de Bolsa <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>\$/kWh</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Precio de Bolsa Trimestre Anterior</td> <td>74.51</td> </tr> </tbody> </table>			\$/kWh	3 Meses	62.62	12 Meses	60.06	36 Meses	53.37		\$/kWh	3 Meses	68.17	12 Meses	62.50	36 Meses	63.35		\$/kWh	Precio de Bolsa Trimestre Anterior	74.51																				
	\$/kWh																																										
3 Meses	62.62																																										
12 Meses	60.06																																										
36 Meses	53.37																																										
	\$/kWh																																										
3 Meses	68.17																																										
12 Meses	62.50																																										
36 Meses	63.35																																										
	\$/kWh																																										
Precio de Bolsa Trimestre Anterior	74.51																																										
<b>Mercadeo</b> Inversión en Mercadeo: (Porcentaje de las Ventas) <input type="text"/>		<input type="button" value="Aceptar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>																																									

Ubique el puntero del mouse sobre alguno de los objetos de este cuadro para consultar su definición

Figura 5 Pantalla de decisiones periódicas.

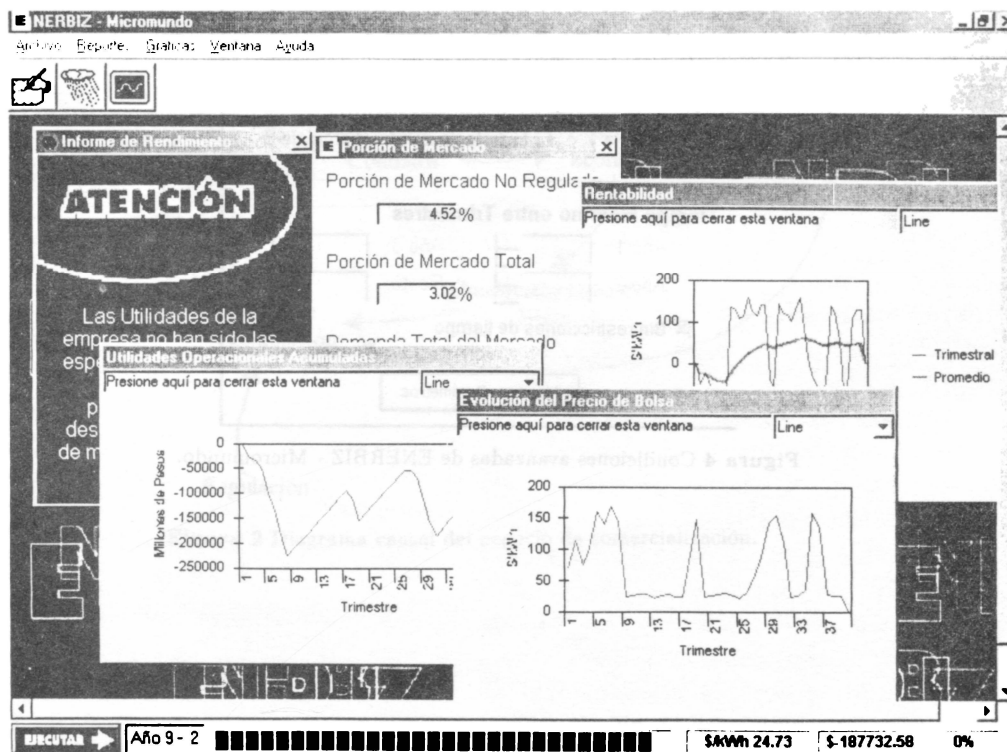


Figura 6 Funcionalidad gráfico y de reportes de ENERBIZ - Micromundo.

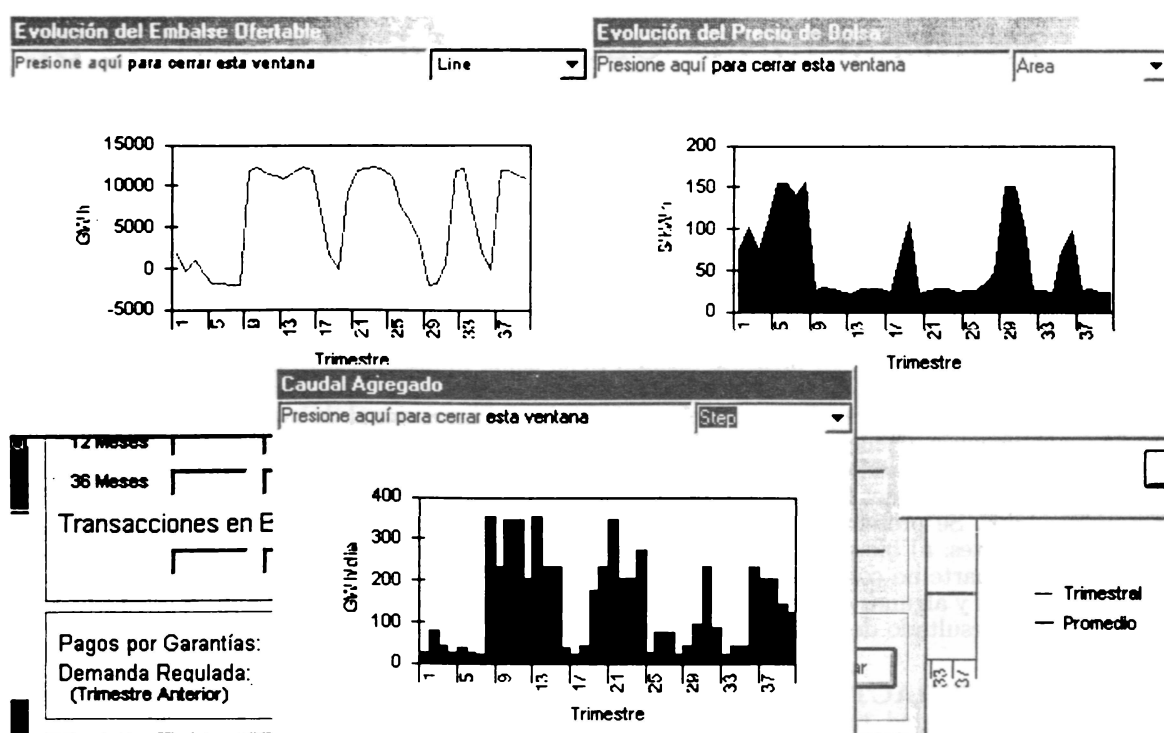


Figura 7 Reportes gráficos de algunas variables con ENERBIZ - Micromundo