

# Metodología para la Conformación de Proyectos de Gestión Tecnológica en Empresas de Distribución Eléctrica Utilizando Dinámica de Sistemas y Algoritmos Genéticos

Ana Lucía Pérez, Germán Moreno, Idanis Diaz y Santiago Hoyos

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.  
Departamento de Ingeniería de Sistemas  
alperez@utlca.edu.co

Recibido para revisión May-2006, aceptado Jun-2006, versión final recibida Jun 2006

**Resumen:** En este artículo se presenta una metodología para abordar la problemática de la desarticulación entre la gestión tecnológica y la variación de la relación oferta - demanda del mercado de energía eléctrica. La metodología propuesta sugiere un portafolio de proyectos que inicialmente pueden ser priorizados con base en criterios de costo, duración, complejidad e impacto en los objetivos organizacionales y evaluados posteriormente en escenarios probables y deseables, condicionados dinámicamente por la demanda, la regulación y referentes tecnológicos. Adicionalmente, como instrumento para monitoreo y validación de la metodología propuesta, se desarrolló una herramienta computacional que integra técnicas de dinámica de sistemas y algoritmos genéticos.

## 1 INTRODUCCIÓN

Para estudiar el caso de gestión tecnológica en empresas de distribución eléctrica, entre 2002 y 2003, el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), la Universidad de Antioquia (UdeA), y el Centro de Investigación y Desarrollo del Sector Eléctrico Colombiano (CIDET), desarrollaron y aplicaron una metodología de análisis de gestión tecnológica en una empresa de distribución eléctrica [CTA (2003)], logrando identificar acciones de mejoramiento como soporte del proceso de gestión tecnológica en EDE. Apoyados en esas acciones, un conjunto de expertos configuró proyectos que buscaban reforzar positivamente la productividad y la competitividad empresarial. Para el efecto, utilizaron metodologías organizacionales para la evaluación de proyectos, tales como MPVA (medición de productividad con un enfoque de valor agregado), con la que se evaluó el impacto de cada proyecto agrupador de acciones de mejoramiento en los siguientes objetivos organizacionales: aumentar ingresos, reducir egresos y satisfacer al cliente.

Este trabajo se motiva en la alta importancia de conformar ese tipo de proyectos pero también en la consideración de que no es conveniente dejar todo ese proceso directamente en manos de expertos, sino que es necesaria una elaboración previa, que reduzca el sesgo de modelos mentales particulares, que trascienda miradas inmediatistas o un tanto estáticas y que permita proce-

sar adecuadamente un volumen de información (asociado a las acciones de mejoramiento identificadas) que definitivamente será excesivo para realizarlo manualmente. Esa elaboración puede ser cualitativa y cuantitativamente mejorada con herramientas informáticas, como la Dinámica de Sistemas y los Algoritmos Genéticos, y en eso se centrará este trabajo.

## 2 COMPRESIÓN SISTÉMICA DE LA GESTIÓN TECNOLÓGICA

La gestión tecnológica empresarial puede abordarse desde diferentes enfoques y con diversas metodologías, pero es más o menos inevitable que incluya un análisis de unidades de gestión, el cual sugerirá naturalmente acciones de mejoramiento de las mismas para ajustar la gestión global al logro de sus objetivos.

Un enfoque adecuado de la gestión tecnológica requiere un alineamiento con los objetivos organizacionales, que directamente están condicionados por la oferta, la demanda y la regulación. Llevar en consideración todo lo anterior para la toma de decisiones en gestión tecnológica requiere, además de una comprensión sistémica, del desarrollo de herramientas de apoyo que permitan monitorear una dinámica asociada a múltiples variables. No abordar este trabajo significa permitir una participación del azar en los resultados, más alta de lo aconsejable.

Este trabajo presenta un avance en el desarrollo de herramientas necesarias para pasar desde un conjunto amplio de acciones de mejoramiento hasta la conformación, guiada por un análisis sistémico, de un portafolio de proyectos priorizados, que permita al nivel decisivo de la organización, una toma de decisiones con mayor probabilidad de éxito de cara al logro de los objetivos empresariales.

En este trabajo se definió un caso simplificado como apoyo para un desarrollo metodológico complementario del presentado en [CTA (2003)]. Se realizó una caracterización de algunas variables y relaciones que intervienen en la definición de portafolios de proyectos bajo condiciones exógenas y escenarios locales en que se mueve la distribución eléctrica.

En la Figura 1 se observan los supuestos y las variables más gruesas del modelo global adoptado, su entorno y sus relaciones causales. Cabe anotar que este modelo es en principio generalizable a toda la gestión empresarial y para cualquier tipo de empresa, pero será considerado específicamente para la gestión tecnológica de una empresa de distribución eléctrica, como se describe a continuación:

La demanda siempre condicionará la oferta de servicios y esta a su vez, generará dentro de la empresa un conjunto de acciones de mejoramiento que se evidencian tras un análisis de unidades de gestión tecnológica (UGT). La demanda se presenta en términos de: 1) "Volumen" de energía (cantidad de kW-h) requerido por los usuarios, y 2) Calidad de esa energía, con componentes de calidad de la potencia (indicadores de mínima variación en las magnitudes de tensión y frecuencia, del factor de potencia y de la distorsión armónica) y de calidad del suministro (indicadores de duración y frecuencia de interrupciones).

En la metodología propuesta en la aplicación para empresas de distribución eléctrica [CTA (2003)], ese análisis se presenta en términos de su dominio, o capacidad para desarrollar dinámicamente las tecnologías, y de su importancia, o nivel de contribución a los propósitos y estrategias globales del negocio.

Visto de otra forma, el análisis evalúa el aporte de las UGT a los objetivos empresariales en términos de productividad y competitividad. Las acciones de mejoramiento están asociadas a sus respectivas UGTs y buscan, mejorando el dominio y la importancia de éstas, lograr una oferta que responda adecuadamente a la demanda y permita el posicionamiento deseado de la organización en el mercado.

Pero esta dinámica de las UGT es afectada también por agentes externos, de los cuales se decidió considerar solo dos en este desarrollo metodológico, en atención a su alta potencialidad de incidencia: la regulación (normatividad y legislación sobre la distribución de electricidad) y los referentes tecnológicos (determi-

nados por desarrollos tecnológicos y mejores prácticas). Al final, se producirá un portafolio de proyectos priorizados que constituyen el abanico de alternativas con los cuales se podrá mejorar la oferta de servicios para la satisfacción adecuada de la demanda, como se puede observar en la Figura 1, con el ciclo de realimentación de compensación o balance (B): Diferencia-Acciones de mejoramiento-Proyectos-Oferencia de servicios-Diferencia; el cual representa la estructura del sistema que define su comportamiento para reducir la diferencia entre la demanda y la oferta de servicios, con la cual se lleva el sistema a un estado deseado o logro de una meta considerada como la satisfacción de la demanda, considerando los retardos de tiempo en la implementación de proyectos y obtención de resultados.

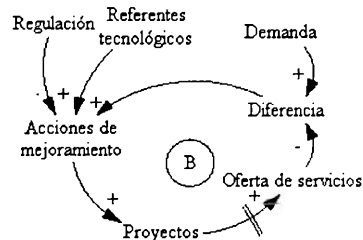


Figura 1: Modelo causa efecto para la satisfacción de la demanda

El modelamiento de la gestión tecnológica en la empresa de distribución eléctrica se hace posible por medio de la identificación de UGT y las relaciones entre ellas, en un modelo de dinámica de sistemas que permite ver el posicionamiento organizacional en el mercado a través de los parámetros de dominio e importancia, después de implementar el portafolio de proyectos priorizados y cuantificar su impacto sobre los objetivos empresariales, a través de los canales de generación de valor de la empresa de distribución eléctrica. Estos en principio son tres: Sistema de Distribución Local o SDL, Nuevos Mercados y Servicios de Valor Agregado; sin embargo, estrictamente el único obligado es el SDL, dado su carácter misional y su aporte mayoritario en los ingresos financieros de la EDE; los demás pueden no existir o ser diferentes; por esta razón, en este caso de estudio, solo se considerará el SDL)

### 3 METODOLOGÍA PARA LA AGREGACIÓN DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN TECNOLÓGICA, COMO BASE DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS

A continuación se presenta el diagrama de flujo que describe de forma global cada una de las etapas de la metodología y sus relaciones (ver Figura 2).

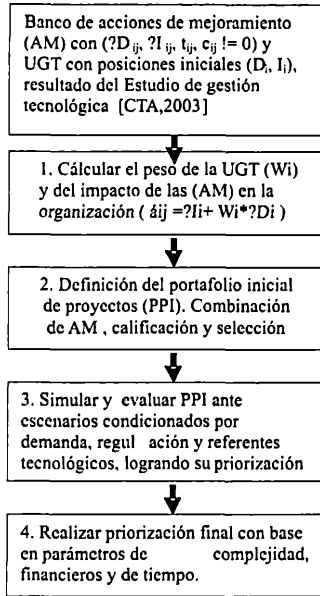


Figura 2: Diagrama de flujo de trabajo de la metodología para la conformación de proyectos de gestión tecnológica

**ETAPA 1. Determinación del beneficio global asociado a cada acción de mejoramiento en la organización** Luego de un estudio sobre el proceso de gestión tecnológica de una compañía de distribución eléctrica, que produzca un conjunto de acciones de mejoramiento que impacten positivamente la productividad y competitividad empresarial, debe hacerse un proceso de especificación de estas acciones, en relación con la UGT asociada, así:

Considerando que la gestión tecnológica de la empresa de distribución eléctrica se realiza mediante UGTs, se puede denotar una acción de mejoramiento con dos subíndices ( $AM_{ij}$ ) que indican la UGT a la que está asociada (índice  $i$ ) y el número de consecutivo de la acción (índice  $j$ ). En el caso de estudio, se definieron:  $UGT_1$ , Gestión de Planeación Técnica;  $UGT_2$ , Gestión de Pérdidas;  $UGT_3$ , Gestión de Calidad del Servicio;  $UGT_4$ , Gestión Estratégica;  $UGT_5$ , Gestión de Información.

Dichas acciones de mejoramiento deben ser evaluadas con respecto al tiempo que requieren para su implementación ( $t_{ij}$ ) y de su costo de implementación ( $c_{ij}$ ). Así mismo, en cuanto al impacto (mejora) de cada  $AM_{ij}$  sobre su propia  $UGT_i$ , tanto en el dominio ( $\Delta D_{ij}$ ) como en la importancia ( $\Delta I_{ij}$ ).

Debido a que las acciones de mejoramiento se gene-

ran a partir de una mirada predominantemente local (hacia la propia UGT), es necesario ir construyendo un indicador de impacto global para lo cual se propone lo siguiente:

1. Definir un factor ( $W_i$ ) para ponderar el beneficio derivado del incremento en el dominio ( $\Delta D_{ij}$ ), beneficio que es fuertemente afectado por el estado de su respectiva  $UGT_i$ , esto es, por su nivel inicial de dominio ( $D_i$ ) y de importancia ( $I_i$ ); la Tabla 1 presenta la forma sugerida de evaluación de  $W_i$ , esta lleva en cuenta el que estratégicamente en primer lugar, interesa a la organización, es decir, llevar UGTs con alta importancia pero bajo dominio, a alcanzar alto dominio; en segundo lugar está sostener y mejorar las UGTs con altos dominio e importancia; en tercer lugar, llevar UGTs de alto dominio y baja importancia, a alcanzar alta importancia; y finalmente tomar decisiones sobre UGTs de baja importancia y también bajo dominio. La Figura 3 ilustra estas prioridades.

Tabla 1: Definición del peso de las UGT

$D_i$	$I_i$	$W_i$
Bajo	Alto	$(1 - D_i) * I_i$
Alto	Alto	$(1 - D_i) * I_i * 0.8$
Alto	Bajo	$D_i * I_i * 0.6$
Bajo	Bajo	$D_i * I_i * 0.4$

Donde: Nivel Alto  $> 0.5$ ; Nivel Bajo  $\leq 0.5$

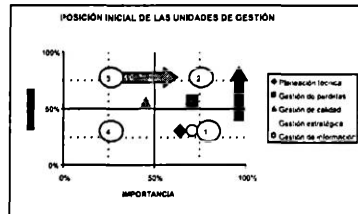


Figura 3: Cuadrantes y movimientos de UGTs

2. Definir  $\alpha_{ij}$  como indicador del beneficio global asociado a una  $AM_{ij}$ , con una incidencia directa del efecto  $\Delta I_{ij}$  sobre la importancia de su UGT<sub>i</sub>, por estar claramente ligado al beneficio global (pues se observa y estima en relación con los objetivos organizacionales), y con una incidencia ponderada del incremento  $\Delta D_{ij}$ , como se anotó. Así,

$$\alpha_{ij} = \Delta I_{ij} + \omega_i * \Delta D_{ij}$$

**EJEMPLO DE APLICACIÓN (1)** Se ilustrará la aplicación de la metodología con un ejemplo desarrollado según las etapas que la constituyen.

En las empresas de distribución eléctrica se pueden delimitar alrededor de 20 *UGT* y del orden de 100 acciones de mejoramiento; para este ejemplo de aplicación se consideraron 5, con reconocida potencialidad de afectar el desempeño de la empresa y además procurando cubrir dos tipos de unidades: específicas (Gestión de Planeación Técnica, Gestión de Pérdidas, Gestión de Calidad del Servicio) y transversales (Gestión Estratégica y Gestión de Información). Así mismo, se seleccionó una muestra aleatoria de 10 acciones de mejoramiento consideradas plausibles, que se definen a continuación y se presentan en la Tabla 2 con los impactos en sus *UGT*s, tiempos de implementación y costos. Con estos datos, se puede ejemplificar la etapa 1 de la metodología.

Tabla 2: Valoración de acciones de mejoramiento

$A_{ij}$	Impacto		Tiempo (meses)	Costo (miles \$)
	$(\Delta D_i)$	$(\Delta I_i)$	$t_{ij}$	$c_{ij}$
A15	.1	.1	6	5000
A22	.12	.04	12	11000
A23	.04	.03	12	9000
A24	.03	.02	6	6000
A31	.06	.02	6	10000
A32	.06	.01	10	25000
A34	.15	.05	12	15000
A35	.15	.0	12	50000
A41	.15	.02	10	12000
A43	.1	.01	4	9000

A15: Monitorear nuevas tecnologías para optimizar o evaluar impacto potencial en el SDL.

A22: Incrementar apropiación de conocimiento sobre control de pérdidas.

A23: Integrar funciones de gestión de mercados. A24: Revisar y formular alternativas de negocio.

A31: Realizar gestión con grandes clientes para conocer perjuicios por mala calidad de la potencia.

A32: Realizar seguimiento a la evolución técnica de la industria (Prospectiva).

A34: Realizar Gestión Regulatoria.

A35: Potenciar la directriz de alcanzar indicadores de clase mundial.

A41: Posicionar la gestión estratégica como elemento básico de supervivencia del negocio.

A43: Estructurar seguimiento al plan estratégico y el reconocimiento a los logros.

Con esta información, más la de la posición actual de las *UGT*s (niveles de dominio e importancia), se estima el factor de ponderación del beneficio (peso)  $W_i$  del impacto en el Dominio y la Importancia de la *UGT*

respectiva, resultando la Tabla 3.

Tabla 3: Valoración del peso de la *UGT* según su posición

<i>UGT</i>	Dominio	Importancia	Peso ( $W_i$ )
Gestión Planeación Técnica	0,3	0,64	0,448
Gestión Pérdidas	0,57	0,71	0,3053
Gestión Calidad	0,55	0,45	0,1215
Gestión Estratégica	0,3	1	0,7
Gestión Información	0,3	0,71	0,197

Y aplicando la fórmula propuesta, se calcula el indicador de beneficio global en la organización, de cada acción de mejoramiento  $AM_{ij}$  obteniendo la Tabla 4:

Tabla 4: Valoración del beneficio global

Acciones de mejoramiento $AM_{ij}$	Beneficio global $\alpha_{ij}$	Acciones de mejoramiento $AM_{ij}$	Beneficio global $\alpha_{ij}$
A15	0,145	A32	0,017
A22	0,077	A34	0,050
A23	0,042	A35	0,018
A24	0,029	A41	0,125
A31	0,027	A43	0,080

**ETAPA 2. Definición del Portafolio Inicial de Proyectos** Para esta etapa de la metodología se debe disponer de una herramienta computacional que permita realizar la combinación de acciones de mejoramiento con base en un conjunto de restricciones. Aquellas acciones de mejoramiento que inhiben la ejecución de otra o no cumplen las restricciones preestablecidas con relación a costo máximo y tiempo máximo de implementación no deben ser tomadas en cuenta para la combinación. Esto puede lograrse recurriendo a un algoritmo genético.

Un algoritmo genético, es una técnica de búsqueda estocástica basada en el principio de la evolución natural, en la que un conjunto de posibles soluciones de un problema es representado como una población de individuos que se reproducen y transforman por medio de unos mecanismos de reproducción y mutación, generándose así nuevos individuos o nuevas posibles soluciones.

Las nuevas posibles soluciones son evaluadas con una función de aptitud que guía la búsqueda hacia los individuos más óptimos. Cada vez que son creados nuevos individuos, se incorporan en la población y se considera que se ha pasado a una nueva generación, que también se somete a reproducción y mutación, hasta que se cumpla una condición de parada, [Koza (1994)]

Al implementar un algoritmo genético se deben definir, un esquema de representación para codificar cada posible solución del problema como un individuo de la

población a evolucionar, un mecanismo de reproducción y otro de mutación, una función de aptitud para medir que tan cercano está cada individuo del óptimo deseado, y unos parámetros de control como son: el número de individuos de la población, y el porcentaje de los individuos a mutar y a reproducir en cada generación, [Sterman (2000)].

En este trabajo, se codificaron cromosomas binarios, en los que cada gen estaba relacionado con una acción de mejoramiento, de tal forma que un uno (1) significaba que la acción estaba presente en el conjunto de acciones que representaba cada individuo. Se implementó el operador de mutación clásico y dos puntos de cruce.

La función de aptitud que se utilizó fue una sumatoria de los costos que implicaban las acciones presentes en el individuo y con algunas penalizaciones que verificaban la no incompatibilidad de que dos acciones se pudieran implementar al mismo tiempo y el tiempo requerido para la implementación del conjunto de acciones. Se trabajó con una población de 100 individuos, durante 200 generaciones, una tasa de mutación del 0,1 y una tasa de cruzamiento del 0,3. Estos parámetros fueron seleccionados al ensayar y evaluar el desempeño del algoritmo en el caso de estudio varias veces.

Se propone la utilización de un programa "inteligente" de cómputo que, además de incluir la interfaz gráfica de usuario para la captura y observación de la información asociada a las acciones de mejoramiento y resultados de su procesamiento, tenga como funciones principales la combinación de acciones, y la calificación y selección de grupos de acciones de mejoramiento más promisorias para la organización, con base en un algoritmo genético cuya función objetivo califica cada combinación según un conjunto de restricciones preestablecidas.

También se deben calificar dichas combinaciones de acciones de mejoramiento; para ello se propone un indicador de relación beneficio costo así:

$$RBC_j = \frac{\sum_i \alpha_i}{\sum_i C_i}, \forall j = 1, 2, \dots, n$$

RBC es la relación beneficio costo,  $\sum_i \alpha_i$  es la sumatoria de los beneficios globales de las acciones de mejoramiento que conforman el proyecto o combinación  $j$ .  $\sum_i C_i$  es la sumatoria de los costos de las acciones de mejoramiento asociadas al proyecto o combinación  $j$  y  $n$  es el número de posibles combinaciones a ser realizadas por el Algoritmo Genético (ver Figura 4).

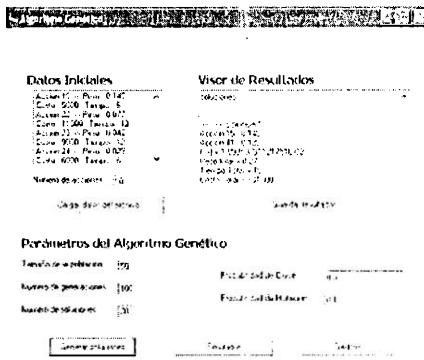


Figura 4: Interfaz Gráfica de Usuario del Algoritmo Genético

Finalmente para esta etapa de la metodología se debe seleccionar el conjunto de combinaciones de acciones de mejoramiento que mayor valor presentan en el indicador beneficio costo para conformar así el Portafolio Inicial de Proyectos, donde cada combinación seleccionada corresponde a un proyecto.

**EJEMPLO DE APLICACIÓN (2)** Bajo el procesamiento de un experto y del AG, a partir de las acciones de mejoramiento de la etapa 1 se llegó a un Portafolio Inicial de Proyectos seleccionado y se verificó la calidad del programa para realizar la agregación de acciones de mejoramiento en proyectos, dada la función objetivo y las restricciones expresadas con base en los criterios mencionados.

Se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 5 en la cual se comparan los resultados generados por el algoritmo genético con las combinaciones propuestas por un experto humano.

Tabla 5: Resultados; experto Vs. AG

Proyectos	Comb. Experto	Comb. AG
Proyecto 1	A41 A43	A15 A43
Proyecto 2	A41 A15 A43	A15 A41
Proyecto 3	A23 A24 A31	A15 A24

De la Tabla 5 se puede observar el nivel de coincidencia entre los proyectos generados por el AG y el Experto, donde para cada uno de los tres proyectos seleccionados, coinciden en al menos una acción de mejoramiento, siendo la mejor coincidencia en el proyecto 2, donde existen dos acciones de mejoramiento comunes. Se ilustra así que la relación beneficio costo definida para la calificación de las combinaciones representa en gran medida las ideas que un experto en el tema desarrolla para realizar dicha agregación de acciones de mejoramiento en

proyectos que impactan positivamente la competitividad y la productividad empresarial.

Las diferencias encontradas en ambos casos, motivan un trabajo futuro para el ajuste de la función objetivo definida para el Algoritmo Genético, donde además de las restricciones sean considerados criterios de unión entre las acciones de mejoramiento, por ejemplo que aquellas acciones de mejoramiento que van en vía del cumplimiento del mismo objetivo empresarial o requieren de los mismos recursos físicos y de talento humano, sean combinados.

**ETAPA 3. Simulación y Evaluación del Portafolio Inicial de Proyectos seleccionado con Dinámica de sistemas** Existe un conjunto de relaciones o sinergias entre las *UGT* que implica que el movimiento en el dominio y la importancia de una de ellas, produce luego de un tiempo de percepción y de reacción, otro movimiento en aquellas *UGT*s que estén relacionadas; es posible evaluar este comportamiento de las *UGT* en el tiempo, utilizando un modelo en dinámica de sistemas como instrumento de simulación numérica [Sterman (2000)].

Además, se consideró plausible, dentro del modelo de dinámica de sistemas, adoptar un arquetipo para caracterizar en el tiempo el efecto de las acciones de mejoramiento sobre las *UGT* asociadas, con diferentes parámetros según se trate del efecto sobre el *Dominio* o sobre la *Importancia*. La Figura 5 ilustra un arquetipo para el efecto de una acción de mejoramiento sobre el *Dominio* de su *UGT*, observándose un pequeño valor del efecto en el primer año, correspondiente al tiempo de implementación de la acción. Posteriormente, se nota un incremento exponencial del efecto de la acción de mejoramiento en el *Dominio* de la *UGT*, como consecuencia de su implementación, y luego aparece un punto de inflexión, después del cuarto año (48 meses), a partir del cual se tiende a la estabilización en el valor máximo estimado por los expertos en la primera etapa de la metodología.

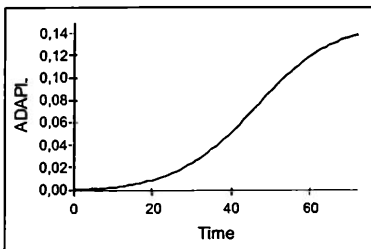


Figura 5: Efecto de la Acción de mejoramiento en el Dominio de la *UGT*

El Portafolio Inicial de Proyectos seleccionado debe ser ingresado a través de la interfaz gráfica de usuario a un modelo de dinámica de sistemas desarrollado con el software Powersim, donde además de las interacciones entre las *UGT*, se hace sentir el efecto de variables exógenas como la regulación y los referentes tecnológicos, constituyendo escenarios que condicionarán la gestión del proceso. Un ejemplo de escenarios se observa en la Figura 6.

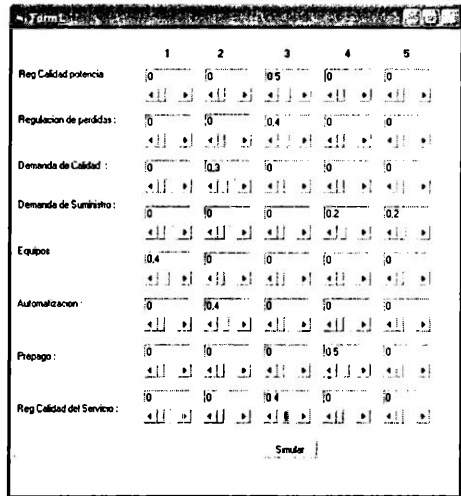


Figura 6: Interfaz Gráfica de Usuario para la definición del escenario

El resultado de esta simulación permite evaluar el nuevo posicionamiento de la empresa en el mercado, ante la aplicación al sistema de un proyecto del Portafolio Inicial de Proyectos seleccionado, a través de la valoración del dominio e importancia alcanzados por las *UGT*, que son entregados por el modelo de simulación en dinámica de sistemas.

Queda así expedita una priorización de los proyectos en función de sus resultados sobre el posicionamiento de la organización.

### EJEMPLO DE APLICACIÓN (3)

1. **Posicionamiento inicial de la organización:** Del análisis de gestión tecnológica de partida, se conocen las posiciones relativas de cada *UGT* en términos de Dominio e Importancia, como se observa en la Figura 7.

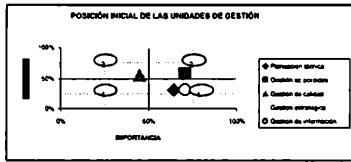


Figura 7: Posiciones iniciales de las UGTs

2. **Definición de Escenarios:** Los escenarios en que se mueven las empresas pueden ser definidos por la variación de variables exógenas, ya que su condición propia se ha caracterizado a través de la evaluación del dominio y la importancia de sus UGT.

Teniendo en cuenta la velocidad del cambio tecnológico y la duración de los ciclos regulatorios de la CREG, se definió un tiempo de simulación de 5 años, con un paso mensual de simulación.

Se han escogido para esta simulación las variables exógenas de la Tabla 6, correspondientes a la demanda (2 variables), la regulación (3 variables) y los referentes tecnológicos (3 variables), por considerarlos altamente representativos del entorno en que la empresa busca ser competitiva.

Tabla 6: Intensidad de cambio de las variables exógenas en el tiempo

VARIABLES EXÓGENAS	ANOS				
	1	2	3	4	5
Demanda de Calidad		0.3			
Demanda de Suministro				0.2	0.2
Reg. Calidad de la Potencia			0.5		
Reg. Calidad del Servicio			0.4		
Reg. de Pérdidas			0.4		
Equipos	0.4				
Automatización		0.4			
Prepago				0.5	

En el período, las variables exógenas hacen presencia con una determinada intensidad de cambio; el valor 1 para una intensidad extremadamente alta, por ejemplo un fuerte cambio tecnológico presentado en la industria, que la lleve a requerir una calidad de la potencia muy alta; el valor 0 para una intensidad extremadamente baja donde los cambios generados en la industria no impactan significativamente la empresa de distribución eléctrica. Es posible de esta forma configurar escenarios previsibles frente a los cuales interesa estimar el desempeño

tecnológico de la empresa.

El escenario representado por la tabla 6 tiene como característica más fuerte un cambio en el año 3 (que puede observarse en las intensidades anuales) por presiones desde la regulación para un aumento significativo en la calidad de la potencia y del servicio, como también de una disminución de las pérdidas aceptadas (consideradas inevitables y por tanto reconocidas en la facturación,) lo que puede ser típico del inicio de un nuevo ciclo regulatorio.

Adicionalmente, se representa en el año 2 un aumento mediano en la demanda de calidad de la energía simultáneo con un cambio relativamente fuerte en la tecnología de automatización utilizada en el medio; en el año 4 se representa un aumento significativo pero no muy fuerte de la demanda de energía, por encima de lo previsto en la planeación estratégica (que naturalmente debe estar realizando previsiones de esta demanda).

3. **Resultados y análisis:** El software desarrollado permite un seguimiento a la evolución de las UGTs como efecto de cada proyecto implementado, durante el período de simulación y en el escenario definido. En la Figura 8 (a,b) se ilustra esa evolución ante el "proyecto 2" del algoritmos genético y en la Figura 8 (c,d) ante el más cecano de los propuestos por el experto, en ambos casos en el escenario de la Tabla 6.

La comparación de los resultados de estos 2 proyectos muestra aspectos interesantes. Los 2 tienen como resultado mayor el llevar las UGTs Gestión estratégica y Planeación técnica al primer cuadrante (altos dominio e importancia) pero el del AG solo comporta 2 AM mientras que el del experto lleva 3, incluyendo las 2 definidas por el AG, con un consecuente mayor costo y tiempo de implementación; y si bien con el proyecto del experto se alcanzan mayores niveles de dominio en las UGTs, no se logran acompañar de diferencias significativas en la importancia (aporte a los objetivos empresariales) de las mismas, lo que muestra un mejor balance estratégico del proyecto del AG.

No es aventurado afirmar que cuanto mayor sea el número de UGTs y acciones a considerar, como acontece en los casos reales. La dificultad para un experto y aún para un conjunto de ellos, de una estimación adecuada de la eficiencia estratégica de un conjunto de acciones (efecto sobre el posicionamiento de la empresa: Dominio e Importancia), es cada vez más difícil y por tanto mayor el aporte de herramientas computacionales de apoyo a la decisión.

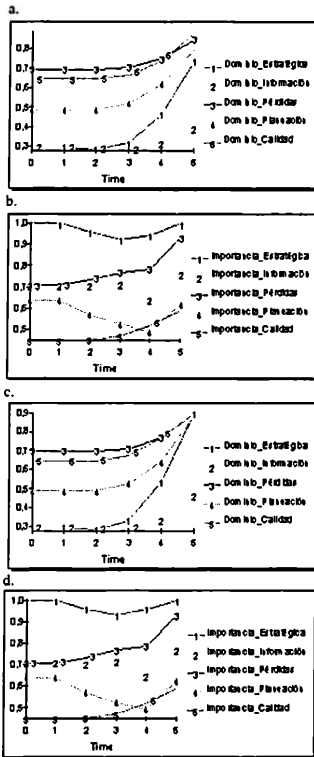


Figura 8: (a,b) Resultados de implementar el proyecto 2 del Algoritmo Genético (AM15 AM41). (c,d) Resultados de implementar el proyecto 2 del Experto (AM15 AM41 AM43)

Por otra parte, la Figura 9 muestra las posiciones finales logradas para las UGT's con los 3 proyectos seleccionados por el AG. De acuerdo con las prioridades estratégicas comentadas en la etapa 1, los 3 proyectos consiguen logros cualitativos estratégicos comparables, pues llevan dos UGT's del cuadrante 4 al 1; mantienen una en el 1, y llevan una del 2 al 1. Sin embargo, se puede pasar fácilmente a una priorización con base en los costos y será proyectos 3-1-2.

1. **Definición de portafolio de proyectos priorizados:** Los proyectos con resultados más promisorios pasan entonces a ser priorizados finalmente con base en parámetros críticos para la organización como son:

- **Financieros:** se pueden utilizar indicadores de costo y rentabilidad de cada uno de los proyectos comparados con la tasa interna de retorno y el valor presente neto, o la relación costo/beneficio, según el caso. También algunos indicadores de riesgo financiero como el grado de exposición e incertidumbre para la recuperación de la inversión y la rentabilidad esperada.
- **Complejidad:** vista desde las dificultades técnicas para el manejo de nuevas tecnologías y el conocimiento a desarrollar en la empresa alrededor de éstas.
- **Tiempo:** en primer lugar, el tiempo de duración del proyecto y en segundo lugar, el tiempo de espera o retardo en la entrega de resultados, acorde con el tiempo de cumplimiento de metas, y la visión empresarial.

La implementación de esta etapa no se incluye en este desarrollo metodológico y, en principio, se deja en manos del nivel decisorio de la empresa, para quien la toma de decisiones ya ha quedado bastante allanada con la conformación de proyectos y priorización lograda en las 3 etapas de la metodología desarrollada.

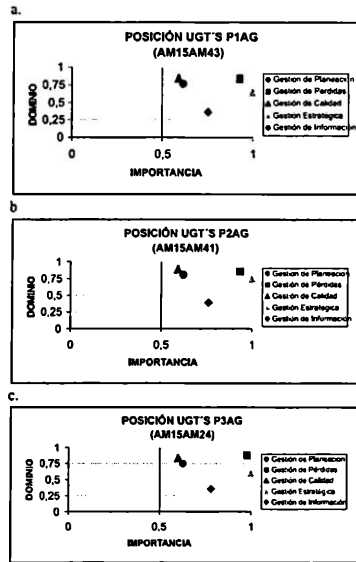


Figura 9: (a,b,c) Posicionamiento al final de la simulación, bajo cada proyecto



#### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología propuesta constituye un aporte importante hacia la solución del problema de mejoramiento de la gestión tecnológica de empresas de distribución de electricidad. Además de haberse comportado bien en la prueba de pequeña escala, lo que le da un primer grado de confiabilidad, queda ya con las herramientas computacionales necesarias para su implementación, faltando ahora su calibración con base en más casos y expertos. La identificación, caracterización y desarrollo de estas herramientas son algunas de las mayores contribuciones de este trabajo.

Tanto la metodología como la herramienta computacional construida para este proyecto pueden aplicarse a otro tipo de empresas, ya que fueron concebidas para las acciones de mejoramiento y sus impactos en ob-

jetivos empresariales generales como maximizar ingresos, reducir egresos y satisfacer al cliente.

El algoritmo genético implementado como una herramienta para solucionar un problema de combinación combinatoria, presentó un buen desempeño y permitió simplificar la evaluación rigurosa de las diferentes alternativas que se podían conformar con las acciones de mejoramiento consideradas.

#### REFERENCIAS

- CTA (2003), Mejoramiento de la gestión tecnológica de la men-de de empresas públicas de medellín, Technical report, CENTRO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ANTIOQUIA (CTA), Medellín.
- Koza, J. (1994), *Genetic Programming II*, The MIT Press.
- Sterman, J. (2000), *Business Dynamics*, McGraw-Hill.

