



Un modelo de implementación de nueva tecnología utilizando un enfoque de pensamiento sistémico

A model of new technology implementation using a systems thinking approach

Cisneros-Lascuráin Eduardo Ernesto

Universidad Internacional Iberoamericana

Correo: eduardo.cisneros@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0001-7589-4932>

Cohuo-Ávila Miguel Ángel

Instituto Tecnológico Superior de Calkini, Campeche

Correo: macohuo@itescam.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4365-187X>

Resumen

La gestión de implementación de nueva tecnología en empresas manufactureras se enfrenta a problemas complejos como recursos humanos y financieros escasos y cambiantes, avances tecnológicos que superan la capacidad de infraestructura y de compatibilidad, necesidad de reconfiguración inmediata y un cambio constante de requisitos. Este artículo propone un modelo de gestión de ingeniería utilizando el enfoque de Pensamiento Sistémico y Modelado (PSyM) en sus 5 fases: la estructuración del problema, modelado de lazo causal, modelado dinámico, planificación y modelización de escenarios y por último la implementación y aprendizaje organizacional. Su objetivo es mejorar la actividad de implementación de nueva tecnología contemplando la herramienta de modelado Vensim® PLE, permitiendo estudiar su reacción a ciertos cambios a lo largo del tiempo; el modelo se validó sometiéndolo a las siguientes verificaciones: el diagrama de lazo casual que corresponde a la declaración del problema, el modelo es dimensionalmente válido, documentación adecuada de cada ecuación en el modelo, el modelo no produce valores irreales, el comportamiento del modelo es plausible, el modelo mantiene la “conservación del flujo” y cada ecuación tiene sentido cuando sus entradas toman valores extremos. Se consideró la experimentación con un esquema de simulación de 22 parámetros de políticas agrupadas en 4 sectores estratégicos: tecnológico, de ingeniería, recursos humanos y finanzas, utilizando la capacidad de evaluación del modelo, se identificaron las debilidades de cada sector y se propone un escenario para mejorarlas. Al analizar el modelo de Gestión de Ingeniería e Introducción de Nueva Tecnología (GIINT) los gerentes pueden considerar las decisiones en función al efecto de estas en la actividad de implementación de nueva tecnología de su empresa, pueden identificar los elementos que influyen en la implementación de tecnología y relacionarlos con los efectos en diferentes áreas de la empresa.

Descriptores: Ingeniería, manufactura, pensamiento sistémico, proyectos, tecnología.

Abstract

The management of the implementation of new technology in manufacturing companies faces complex problems such as scarce and changing human and financial resources, technological advances that exceed the capacity of infrastructure and compatibility, the need for immediate reconfiguration and a constant change of requirements. This article proposes an engineering management model using the Systemic Thinking and Modeling (PSyM) approach in its 5 phases, problem structuring, causal link modeling, dynamic modeling, scenario planning and modeling, and finally implementation and learning. organizational Its objective is to improve the implementation activity of new technology by contemplating the Vensim® PLE modeling tool allowing to study its reaction to certain changes over time; the model was validated by submitting it to the following verifications: the casual loop diagram corresponds to the statement of the problem, the model is dimensionally valid, adequate documentation of each equation in the model, the model does not produce unreal values, the behavior of the model is plausible, the model maintains the “flow conservation” and each equation makes sense when its inputs take extreme values. Experimentation was considered with a simulation scheme of 22 policy parameters grouped into 4 strategic sectors: technology, engineering, human resources and finance, using the evaluation capacity of the model, the weaknesses of each sector were identified and a scenario is proposed to improve them. By analyzing the Engineering Management and New Technology Introduction (GIINT) model, managers can consider the decisions based on the effect of these on the implementation activity of new technology of their company, they can identify the elements that influence the implementation of technology and relate them to the effects in different areas of the company.

Keywords: Engineering, manufacturing, projects, systems thinking, technology.

INTRODUCCIÓN

El panorama de las organizaciones y el personal de ingeniería dedicado a la introducción de nuevas tecnologías ha sido drásticamente cambiante durante este tiempo. La *American Society for Engineering Management* (ASEM, por sus siglas en inglés), define la gestión de la ingeniería como “el arte y la ciencia de planificar, organizar, asignar recursos y dirigir y controlar actividades que tienen un componente tecnológico”.

El entorno en el que las organizaciones y sus miembros operan también ha evolucionado significativamente desde la creación de esta sociedad. En el actual entorno de gestión de la ingeniería de acuerdo con Keating *et al.* (2016) se requiere una lucha constante contra:

1. La proliferación de sistemas y tecnologías intensivos de información.
2. Múltiples interesados con perspectivas potencialmente divergentes y agendas impulsadas políticamente.
3. Recursos disponibles escasos y dinámicamente cambiantes para el apoyo a los proyectos.
4. Cambios constantes en los requisitos y el contexto de ejecución.
5. Avances tecnológicos que superan las capacidades y compatibilidad potencial de la infraestructura necesaria para apoyar su desarrollo.
6. Urgencia para la reconfiguración inmediata y sensible para hacer frente a los cambios en los supuestos operativos.
7. Creación de perspectivas a largo plazo para hacer frente a las crisis emergentes haciendo prácticamente inservibles las formas tradicionales de planificación.
8. Las complejidades e incertidumbres crecientes ya son una regla y no una excepción.
9. Operaciones tenues en el mejor de los casos.

Estas características no tienden a disminuir, por el contrario, es probable que aumenten su complejidad en su solución. El éxito de los nuevos líderes de ingeniería está vinculado a la capacidad de afrontar con eficacia los retos mencionados anteriormente.

El desarrollo de soluciones sistémicas resistentes a lo que Ackoff (1989) denominó «líos» (sistemas de problemas interrelacionados), o lo que Rittel & Webber (1973) identificaron como «problemas perversos». Keating *et al.* (2016) señalan tres desafíos sistémicos primarios:

- Delimitación sistémica de dominios problemáticos complejos.
- Establecer una perspectiva y enfoque holístico de problemas complejos.

- Lidiar con la complejidad a través del pensamiento sistémico de espectro completo.

Delimitación sistémica: Implica tener en cuenta la naturaleza holística de un problema sistémico complejo. Hay tres aspectos importantes en la delimitación que Keating *et al.* (2016) han señalado respecto al pensamiento sistémico como una capacidad de habilitación que puede utilizarse para mejorar la capacidad de la organización de Gestión de Ingeniería e Introducción de Nueva Tecnología:

1. Las habilidades en el pensamiento sistémico proporcionan una forma de pensar y organizar problemas de sistemas complejos, informados por una filosofía y principios rectores que se basan en la teoría de los sistemas.
2. Es probable que la delimitación sea la fase inicial de cualquier esfuerzo para tratar problemas sistémicos complejos; el realizar esta actividad desde una perspectiva “sistémica” servirá para mejorar las capacidades de futuras organizaciones.
3. La delimitación sistémica implica una forma de pensar, con la confianza en la filosofía de sistemas fundamentales y los principios que informan una perspectiva más sofisticada del dominio del problema.

El **holismo** sugiere que el conocimiento de un sistema o situación compleja requiera de mantener la comprensión al nivel de todo el sistema. Keating *et al.* (2016) establecen el modificador de “espectro completo” para ampliar un punto de vista demasiado estrecho del pensamiento sistémico. En una revisión literaria sobre el pensamiento sistémico Monat & Gannon (2015) abordan y asocian estrechamente el pensamiento sistémico al campo de la dinámica de sistemas como un campo que permite una herramienta, un compromiso del pensamiento sistémico.

Considerando el rol importante de la gestión de la ingeniería en la implementación de nuevas tecnologías para la industria manufacturera, se ha diseñado un modelo que contempla un sistema de gestión de ingeniería para su implementación, utilizando un enfoque de pensamiento sistémico y teniendo como objetivo mejorar la actividad de la implementación, además de considerar decisiones estratégicas de la empresa asociadas a las políticas de operación. El modelo establece la organización interna y los procesos de gestión de ingeniería utilizando el acrónimo GIINT (Gestión de Ingeniería e Introducción de Nueva Tecnología) y dividiendo a la empresa en los sectores: tecnológico, de ingeniería, de recursos humanos y el de finanzas.

En este trabajo se contempla introducir el concepto GIINT para posteriormente presentar los elementos que lo constituyen bajo un enfoque de pensamiento sistémico. En el apartado de desarrollo se presenta la metodología utilizada para construir el modelo GIINT, en la sección de discusión y análisis de resultados se presentan los factores que influyen en ella y se presenta un ejemplo del marco lógico de estos elementos bajo un enfoque de pensamiento sistémico, así como la conversión de estos en un modelo simulado.

De acuerdo con Skyttner (1996), nunca puede haber conocimiento completo de un sistema. Una estructura y comportamiento de un sistema complejo es emergente y el conocimiento completo no es posible, también afirma que es una falacia que las personas involucradas en la GIINT piensen que puede haber una comprensión completa de un sistema complejo. En su relación con la GIINT, Keating (2009) menciona que, para sistemas o situaciones complejas hay eventos, estructuras y comportamientos que no se pueden conocer o predecir de antemano. Keating *et al.* (2001) afirman que un sistema solo puede producir lo que produce, nada más y nada menos. Se ejecuta perfectamente para producir los patrones, el rendimiento, el comportamiento y la estructura que produce. Al aplicar esta afirmación en la GIINT, cuando nos enfrentamos a un rendimiento o comportamiento que no es deseable, primero se debe observar el sistema que está generando la variación de comportamiento/rendimiento.

DESARROLLO

METODOLOGÍA

El pensamiento sistémico ofrece una metodología que proporciona un marco para comprender la naturaleza y las características de comportamiento de los sistemas de múltiples nodos, donde los sistemas de gestión de ingeniería e implementación de nueva tecnología son un ejemplo. Asimismo, proporciona una forma práctica para definir problemas de gestión y diseñar soluciones para ellos. Un enfoque sistémico proporciona al investi-

gador y al gerente una herramienta dinámica que proyecta las implicaciones de una decisión en el tiempo (Checkland, 1999; Gharajedaghi, 2011). Sin embargo, Senge (2006) sostiene que el uso del pensamiento sistémico descubre la complejidad del sistema al revelar las estructuras subyacentes que generan el cambio. Añade que el pensamiento sistémico ilustra cómo se genera un problema complejo y qué factores influyen en él de una u otra forma a lo largo del tiempo. Para mostrar estas relaciones, transforma cualquier problema en diagramas simples, "estructuras genéricas", que en combinación pueden ilustrar la lógica subyacente de un sistema (Figura 1).

Para el desarrollo del modelo de GIINT se realizó una Intervención Total de Sistemas tomando como referencia la Metodología de Pensamiento Sistémico y Modelación de Maani & Cavana (2007) (PSyM), la cual representa una intervención total de sistemas.

La metodología PSyM incluye cinco fases principales: la estructuración de problemas; modelado de lazo causal; modelado dinámico; planificación y modelización de escenarios, así como la implementación y aprendizaje organizacional (Figura 2). Por otro lado, Maani & Cavana (2007) enfatizan que una intervención de PSyM no requiere que todas las fases se realicen, ni que cada fase requiera todos los pasos de la metodología, sino que estas fases y pasos se presentan como guías, las cuales indican qué fases y pasos deben incluirse en una intervención PSyM en particular, dependiendo de los problemas que ha generado la investigación de sistemas y el grado de esfuerzo que la organización está dispuesta a comprometer e intervenir.

Los modelos de pensamiento sistémico se diseñan y simulan utilizando el paquete de modelado Vensim® PLE. debido a su interfaz de usuario que utiliza íconos simples y legibles para funciones como stocks, flujos, variables y flechas (Figura 3). Estos elementos traducen las estructuras genéricas a un sistema dinámico que se puede simular y permite estudiar su reacción a ciertos cambios a lo largo del tiempo. Los elementos del modelo se caracterizan como variables "blandas" porque no tienen un valor numérico real, sin embargo, es posible

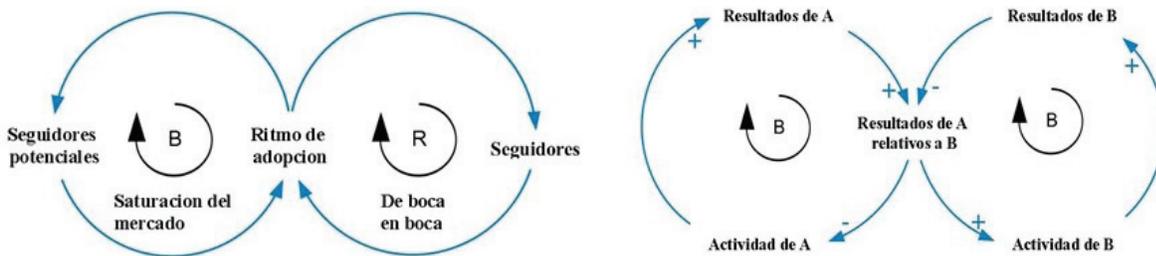


Figura 1. Diagramas de estructuras comunes (Senge, 2006)

cuantificarlos asignándoles un índice de 0 a 100 para calificar su nivel, así las variables pueden interactuar y el modelo permite estudiar el papel de cada una.

ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA

En esta fase se definió la situación o asunto en cuestión y se identificaron el alcance y los límites del estudio.

La intervención de PSyM se ocupa de los siguientes problemas estratégicos identificados por la gerencia de GIINT:

1. Cómo detener la disminución de tecnología a implementar por la organización de GIINT.
2. Cómo disminuir el tiempo promedio de implementación de nuevas tecnologías por la GIINT.

3. Detener la disminución de los beneficios obtenidos en la implementación de nuevas tecnologías por la GIINT.

Se realizó un mapa de sistemas y un diagrama de lazo causal para explicar el comportamiento de las principales variables. Con base en la información recabada en la fase de investigación de campo por el personal de la industria manufacturera y su relación con la GIINT, se identificó un conjunto inicial de variables que se incluyeron en el análisis, los sectores principales de un modelo potencial y los límites del área problemática. Se determinó la necesidad de incluir datos de los sectores: tecnología, ingeniería, finanzas y recursos humanos (Figura 4, mapa de sistemas) para explicar el comportamiento a lo largo del tiempo de la GIINT, considerando

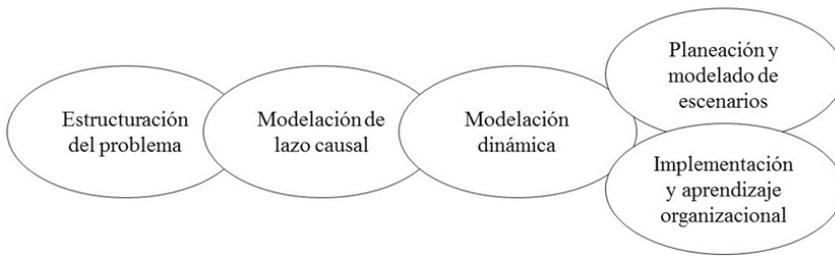


Figura 2. Fases de la metodología de pensamiento sistémico y de modelado (Maani & Cavana, 2007)

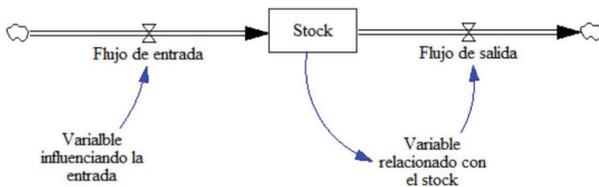


Figura 3. Elementos básicos del software de modelación Vensim® PLE

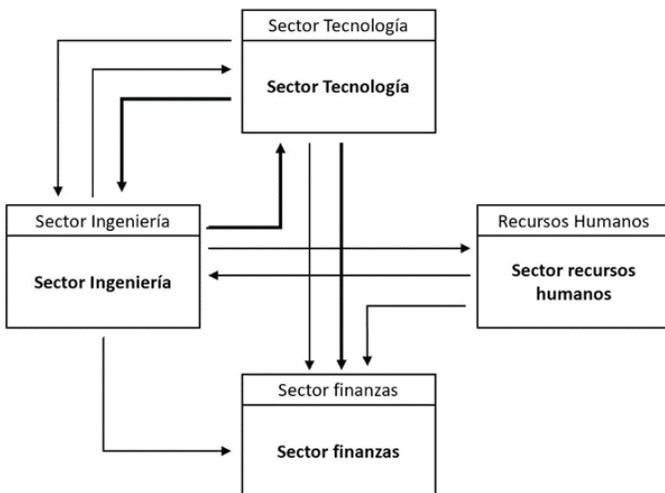


Figura 4. Mapa de sistemas (alto nivel) de los sectores principales en el modelo estratégico de GIINT

que los datos de estas variables están disponibles en diferentes partes funcionales de la empresa y que forman parte del modelo inicial y estratégico.

MODELADO DE LAZO CAUSAL

Se crearon modelos conceptuales del problema, denominados diagramas de lazos causales (DLCs), reflejando un componente importante y la parte utilizada del enfoque de pensamiento sistémico.

Los siguientes pasos que se utilizan en el modelado de lazo causal son:

1. La identificación de las variables principales (clave).
2. Dibujar gráficos de comportamiento a través del tiempo para las variables principales.
3. Desarrollar diagramas de lazos causales (diagramas de influencia) para ilustrar las relaciones entre las variables.
4. Discutir el comportamiento en el tiempo de la dinámica implicada por los diagramas de lazo causal.
5. Identificar arquetipos de sistemas que describirían patrones causales de alto nivel.

6. Identificar puntos de apalancamiento clave.

7. Desarrollar estrategias de intervención dando como resultado el DLC simplificado para el modelo de GIINT como se observa en la Figura 5.

MODELADO DINÁMICO

El siguiente paso es el del diagrama de lazos causales, el cual se desarrolló anteriormente. Se convierte un modelo de simulación dinámica por medio del software de modelación Vensim® PLE empleando el enfoque de dinámica de sistemas, con énfasis en describir (mediante los diagramas de lazos causales) la formulación de ecuaciones (en un modelo cuantitativo) para cada relación de causa y efecto.

Varias de las situaciones principales que subyacen el desarrollo del modelo han sido delineadas durante las entrevistas de campo en el medio manufacturero y con base en la experiencia de los autores.

En esta sección, las situaciones detalladas respecto a los valores iniciales de los stocks, la relación específica que controla los flujos hacia y fuera de los mismos, los valores de los parámetros y la estructura de las varia-

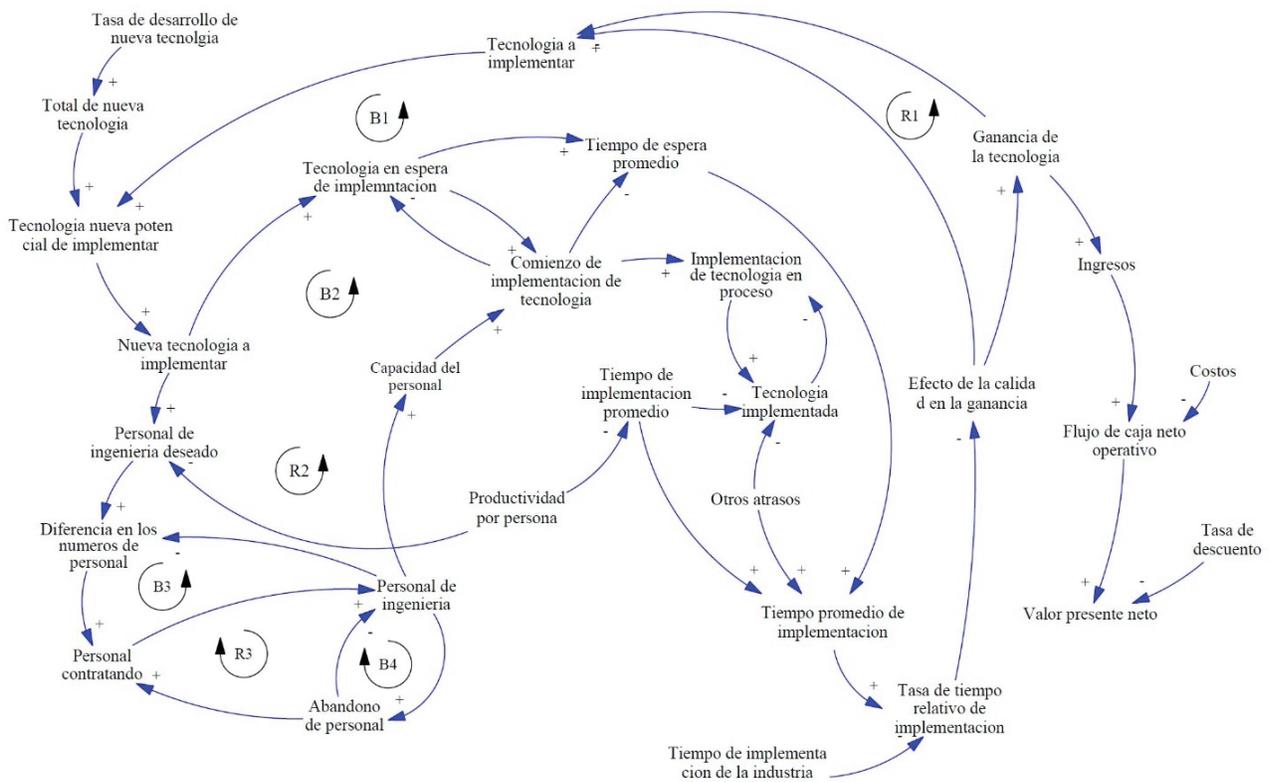


Figura 5. Diagrama de lazo causal simplificado para el modelo de GIINT

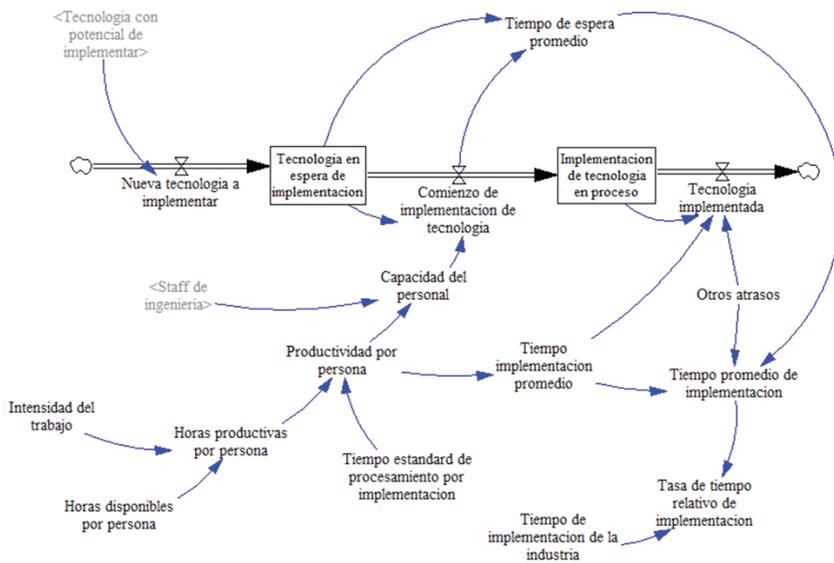


Figura 7. Diagrama de stock y flujo para el sector de Ingeniería

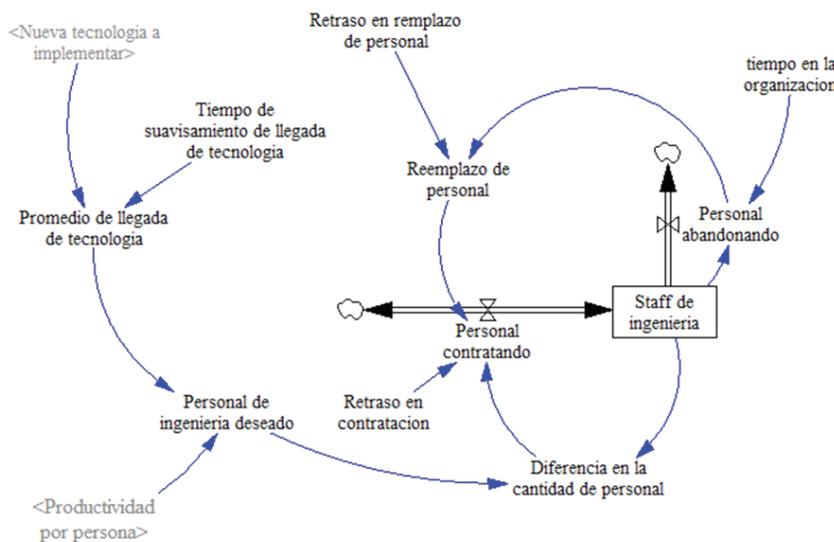


Figura 8. Diagrama de stock y flujo para el sector de recursos humanos

res del modelo (Figura 9), por ejemplo, se ha considerado que los equipos de capital se arrendan al mercado o a la empresa matriz de la organización, es decir, no hay un sector de inversión de capital en el modelo que dependiera de la rentabilidad o el flujo de efectivo generado por el sistema. Tampoco existe una conexión de retroalimentación directa que vincule los pagos de salarios o bonificaciones con la productividad. Estas variables y relaciones se pueden agregar posteriormente si son necesarias, para cumplir con los objetivos de la administración del modelo. Todos los beneficios y costos en el modelo se expresan en dólares (Figura 9).

VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo se construyó gradualmente, contemplando la salida gráfica y tabular revisada en cada etapa, donde se entendió y comprendió el desarrollo, así como el comportamiento del modelo.

La versión base del modelo se sometió a un rango de validación y verificación sugeridas por Coyle (1996). Permite utilizarse para el análisis de políticas y desarrollo de estrategias que permita a la gerencia cumplir con sus objetivos y validar el modelo, este generó el caso base y se analizó el comportamiento de las variables

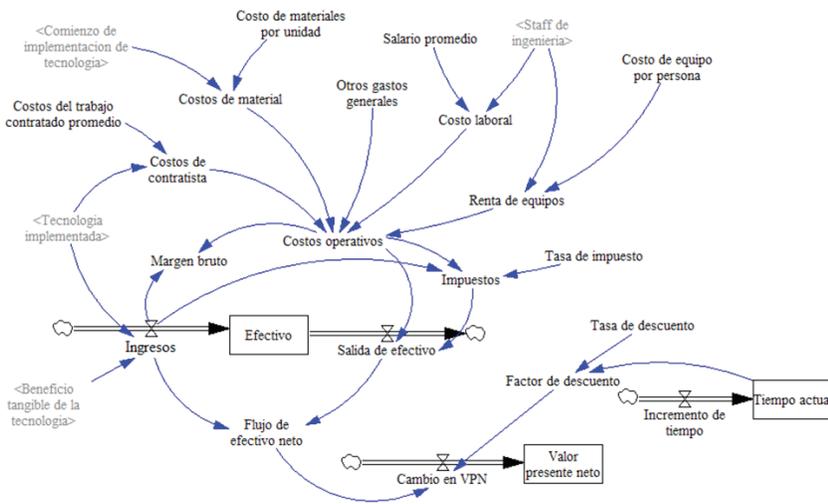


Figura 9. Diagrama de stock y flujo para el sector de finanzas

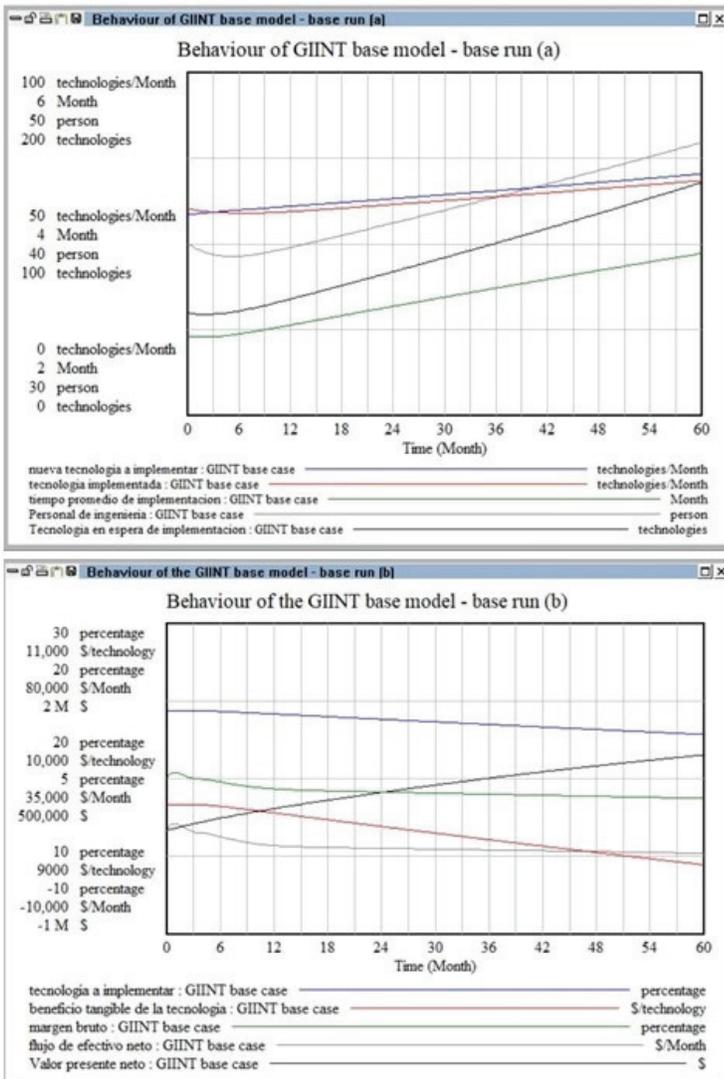


Figura 10. Comportamiento del modelo estratégico de GIINT

principales (Figura 10). El propósito de estas pruebas fue generar una confirmación del modelo que pudiera utilizarse para el análisis de políticas y el desarrollo de estrategias, las cuales aportarían a la gerencia el cumplimiento de los objetivos de proponer un conjunto de principios sistémicos, metodologías y herramientas que aumenten el porcentaje de lanzamiento de productos, que lleguen al mercado en el tiempo programado y disminuyan el lapso del ciclo de los cambios de ingeniería durante la introducción de nuevos productos en las industrias manufactureras, utilizando como eje principal el pensamiento sistémico.

PLANIFICACIÓN, MODELADO DE ESCENARIOS, IMPLEMENTACIÓN Y APRENDIZAJE ORGANIZACIONAL

En esta fase se postularon y pusieron a prueba diversas políticas y estrategias. Aquí “política” se refiere a cambios en una sola variable interna como la contratación, la calidad o el precio. La estrategia es la combinación de un conjunto de políticas y, como tal, trata de cambios internos o controlables.

Uno de los resultados beneficiosos y duraderos del PSyM es el aprendizaje organizacional y de equipo. Una vez que los modelos de simulación se han desarrollado, se pueden realzar extendiéndolos en un simulador de vuelo (para la gestión) y proporcionan una interfaz interactiva y fácil de usar para que los administradores experimenten con él. El laboratorio de aprendizaje utiliza simuladores en un proceso estructurado, similar a un entorno científico para probar hipótesis y modelos mentales diseñados para crear aprendizaje individual y grupal.

ANÁLISIS DE LAZO CAUSAL

En el análisis del DLC representado en la Figura 5, se llega a la conclusión de que un elemento clave es acelerar el tiempo de implementación de nueva tecnología. Se debe centrar la atención en diseñar políticas y estrategias para lograr la aceleración del tiempo de implementación, las cuales se enfoquen en la optimización de los parámetros sensibles que se identificaron en la sección anterior.

ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE POLÍTICAS

Se realiza un análisis de 22 parámetros agrupados en los 4 sectores estratégicos, aplicando medidas de desempeño con pruebas de sensibilidad a 10 % de cambios. El tiempo de trabajo relativo se considera como una medida de desempeño operacional, donde el per-

sonal se trata como una medida operativa y de desempeño de recursos humanos; por lo que el margen operativo y el valor presente neto se consideran como medidas financieras. Los parámetros se clasifican de acuerdo con la medida en que estén sujetos al control de la administración de la GIINT:

- Interno: generalmente controlado por la gerencia.
- Externo: Control directo de la dirección externa.

Ambos influenciados, tanto por la gestión, como por factores externos (Tabla 1).

Se puede observar que la administración tiene el control total de 3 parámetros y se tiene cierta influencia con otros 9 parámetros, sin embargo para que se muestre esta influencia, es necesario hacer posibles cambios en otras partes del sistema.

Otros 10 parámetros son externos, por lo que se consideró un análisis adicional en la sección de discusión y análisis de resultados, donde se prueba la solidez de las políticas, así como las estrategias rediseñadas y propuestas a un rango de futuros alternativos.

CAMBIOS ESTRUCTURALES A LAS POLÍTICAS

Se realizan una serie de cambios estructurales a las políticas en el caso base. Estos incluyen el rediseño de la tasa de “nueva tecnología a implementar”, contemplado el experimento de política: rediseño de la tasa “arribo de nueva tecnología”.

En el caso base, la tasa de llegada de tecnología a implementar se conectó directamente a la variable: “tecnología con potencial a implementar” (Figura 7). Sin embargo, ello hacía cada vez mayor la espera en curso de tecnología a implementar, fue por ello que en este experimento de política se decidió restringir la llegada de una “nueva tecnología a implementar” para que la acumulación se controlara al nivel deseado. De esta forma, se dependió de la cobertura requerida de un mes, es decir, la tecnología a implementar disponible fue aceptable.

También se incluyó información sobre el inicio promedio de implementación de tecnología en esta política rediseñada para suavizar las llegadas a la capacidad actual de implementación de nueva tecnología. El diagrama de flujo de stock para esta política rediseñada se puede observar en la Figura 11.

Tabla 1. Sumario de las pruebas de sensibilidad y clasificación de los parámetros de entrada

	Medidas de desempeño (1)				Clasificación de parámetros (2)
	Tecnología	Ingeniería	Recursos Humanos	Finanzas	
Sector tecnológico					
Beneficio estándar por tecnología				***	Externa
Tasa de implementación de nueva tecnología					Externa
Meta de implementación de tecnología*	*	*	*	**	Externa
Efecto del beneficio en la tecnología a implementar					Externa
Efecto de la calidad en la tecnología a implementar					Externa
Efecto de la calidad en los beneficios				**	Externa
Sector ingeniería					
Horas disponibles por persona		*	*	***	Ambas
Tiempo de implementación en la industria		*		***	Externa
Otros atrasos		*		*	Ambas
Intensidad del trabajo		*	*	***	Ambas
Tiempo estándar de procesamiento por implementación		*	*	***	Ambas
Sector recursos humanos					
Retraso en contratación				*	Ambas
Tiempo de suavizamiento de llegada de tecnología				*	Interna
Retraso en reemplazo de personal					Interna
Tiempo en la organización					Ambas
Sector finanzas					
Costos promedio del trabajo contratado				**	Externa
Salario promedio				***	Ambas
Tasa de descuento					Ambas
Costo de equipo por persona				*	Externa
Costo de materiales por unidad				***	Externa
Otros gastos generales				***	Ambas
Tasa de impuesto				*	Externa

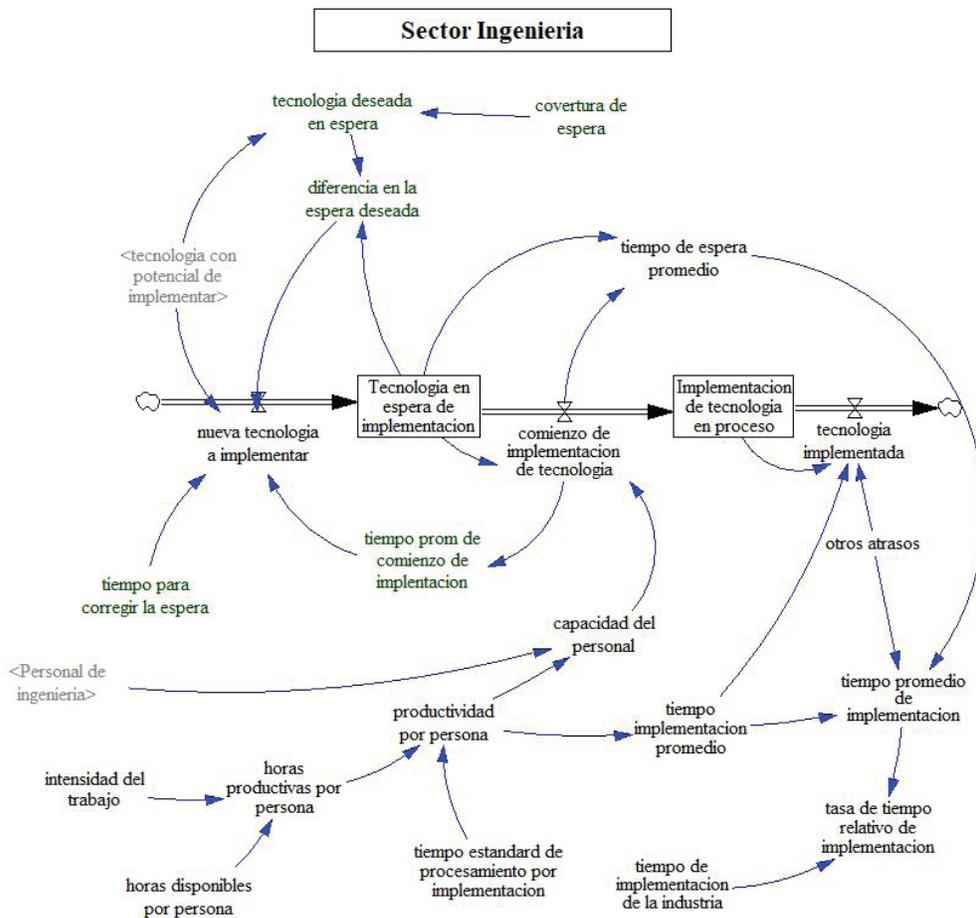


Figura 11. Diagrama de flujo de stock para la tasa de llegada modificada de tecnología a implementar

Las nuevas ecuaciones consideradas son:

$$nueva\ tecnología\ a\ implementar = MIN(tecnología\ con\ potencial\ de\ implementar, diferencia\ en\ la\ espera\ deseada / tiempo\ para\ corregir\ la\ espera + tiempo\ prom\ de\ comienzo\ de\ implementación) \{technologies / Month\}$$

$$diferencia\ en\ la\ espera\ deseada = tecnología\ deseada\ en\ espera - Tecnología\ en\ espera\ de\ implementación \{technologies\}$$

$$tecnología\ deseada\ en\ espera = tecnología\ con\ potencial\ de\ implementar * cobertura\ de\ espera \{technologies\}$$

$$cobertura\ de\ espera = 1 \{Month\}$$

$$tiempo\ para\ corregir\ la\ espera = 2 \{Month\}$$

$$tiempo\ prom\ de\ comienzo\ de\ implementación = SMOOTH3 (comienzo\ de\ implementación\ de\ tecnología) \{technologies / Month\}$$

En este experimento el comportamiento del modelo para las principales variables y los valores finales (en el mes 60 de la simulación) para un rango de medidas de desempeño se resumen en la Tabla 3. Aunque la tecnología a implementar por la GIINT se ha reducido en alrededor de 20 % en comparación con el 23 % en el caso base. El desempeño general de la GIINT ha mejorado con beneficios más altos y tiempos de implementación de tecnología más rápidos que en el caso base (Figura 12). Sin embargo, el rendimiento de la GIINT se mantiene inferior al promedio de la industria y el margen bruto final de 4.4 % aún es relativamente bajo para esta industria.

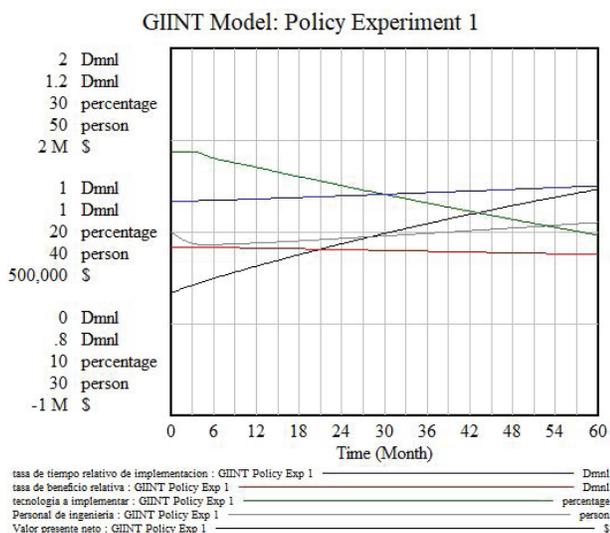


Figura 12. Modelo de comportamiento para el experimento de política (Tasa modificada de llegada de tecnologías a implementar)

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez desarrollado el experimento y considerando estrategias alternativas para la GIINT, se determinó la política descrita en el documento, por lo que con diferentes combinaciones de algunos de los parámetros de políticas se describen los principales resultados.

DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA

Las estrategias en un estudio de dinámica de sistemas se consideran combinaciones de políticas diseñadas para abordar los problemas y objetivos estratégicos establecidos por la gerencia. Sobre la base de las pruebas de sensibilidad y el diseño de políticas descritas anteriormente, se desarrolló una estrategia alternativa para evaluación dándole el nombre de “impulso a la tecnología” para hacerla inmediatamente reconocible (Tabla 2). En la Figura 13 se muestra el comportamiento de las principales variables como el impulso tecnológico y los valores finales de las principales medidas de desempeño (Tabla 3).

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA

En esta estrategia se asume que se tiene un esfuerzo para “impulsar la tecnología” para la organización de la GIINT al final del primer año. Esto implica un aumento en la meta de implementación tecnológica a 30 % para el comienzo del segundo año, incrementándolo desde un 25 % en el año 1 y volviendo a ese nivel para el final del segundo año. También se asume que el porcentaje de tiempo que el personal invirtió en el trabajo

Tabla 2. Estrategia “impulso a la tecnología” para la GIINT

Parámetros de la política en control de la gerencia	Estrategia Impulso a la tecnología
Meta de implementación de tecnología	25 %, creciendo a 30 % comenzando el año 2 y regresando al 25 % para el año 3
Otros atrasos	1 mes
Intensidad del trabajo	82 % inicialmente, creciendo a 85 % al principio del año 2 y regresando a 82 % desde el año 3
Tiempo estándar de procesamiento por implementación	78 hrs
Demora de contratación	2.5 meses
Retardo en contratación de personal	3 meses
Salario promedio mensual	\$ 4100 (≈ + 10 %)

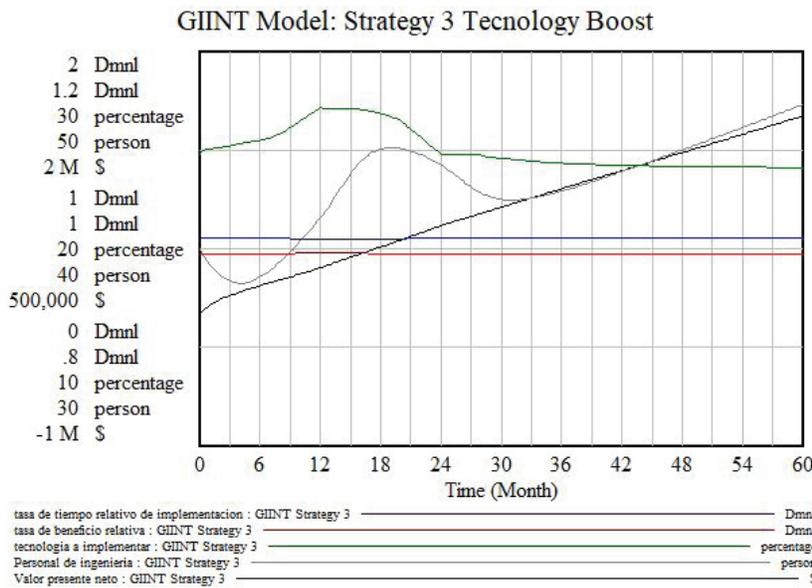


Figura 13. Modelo de comportamiento para la estrategia Núm. 3 (Impulso tecnológico)

Tabla 3. Resultados resumidos de los experimentos de política y estrategia

Modelo experimental	Tasa de tiempo relativo de implementación	Tasa de beneficio relativa	Tecnología a implementar %	Personal de ingeniería (Núm.)	Margen bruto %	Valor presente neto (\$ 000)	Tiempo en GIINT (meses)
Valores iniciales (mes 0) Tesis base	1.17	0.98	24.4	40	5.0	0	36
Valores finales (mes 60) Tesis base	1.55	0.94	22.8	46	3.1	728	36
Exp. Política	1.25	0.98	19.8	41	4.4	846	36
Estrategia 1	1.17	0.98	23.7	49	7.5	1118	36

productivo mostraría un patrón similar, para mantenerse al día con el trabajo adicional generado.

Los resultados de este experimento muestran que el margen bruto y el VPN son ligeramente más bajos durante el período de simulación, debido principalmente a 5 % del costo salarial adicional asumido por cada empleado para mantenerlos en la organización. El tiempo promedio de permanencia del personal la organización de GIINT disminuye aproximadamente un 10 % durante el período de 5 años, debido principalmente a la intensidad de trabajo adicional que se espera para el personal.

ANÁLISIS DE ESCENARIO

Se presenta una gama de escenarios para el caso de la estrategia de GIINT y se prueba la estrategia rediseñada contra estos futuros alternativos (o escenarios). El enfoque utilizado se basa en el método descrito por

(Schoemaker, 1995). Inicialmente se indica el alcance de las principales incertidumbres que podría tener un impacto en la GIINT, para posteriormente presentar dos escenarios “forzados”. Estos parten de la base de los escenarios de “aprendizaje”, que se analizan con el modelo de simulación dinámica para probar la solidez de las estrategias rediseñadas.

INCERTIDUMBRE

Hay una gran cantidad de incertidumbre en cada uno de los sectores que podrían tener un impacto en el futuro de la GIINT, sin embargo, para llevar a cabo un análisis no se pueden considerar todos los cambios posibles que puedan tener lugar en el futuro. Lo correcto es identificar los cambios que probablemente ocurran o que podrían tener el mayor impacto en la organización. Además, se deben considerar las variables, los paráme-

Tabla 4. Escenarios forzados para la estrategia de GIINT

	Escenarios forzados		
	Influencia mayor	Pesimista	Optimista
Sector tecnología			
Beneficio estándar por tecnología	Externo	- 15 %	+ 10 %
Tasa de implementación de nueva tecnología	Externo	0 %	+ 10 %
Meta de implementación de tecnología	Interno	Disminuye a 20 %	Incrementa a 30 %
Efecto del beneficio en la tecnología a implementar	Externo	Deteriora a 20 %	Mejora en 10 %
Efecto de la calidad en los beneficios	Externo	Deteriora a 25 %	Mejora en 10 %
Efecto de la calidad en la tecnología a implementar	Externo	Deteriora a 20 %	Mejora en 10 %
Sector ingeniería			
Tiempo de implementación en la industria	Externo	- 15 %	+ 10 %
Otros atrasos	Ambos	+ 25 %	- 20 %
Sector de recursos humanos			
Retraso en la contratación	Ambos	+ 25 %	- 25 %
Tiempo en la organización	Ambos	- 25 %	+ 25 %
Sector finanzas			
Costo promedio del contratista	Externo	+ 10 %	- 10 %
Salario promedio	Ambos	+ 5 %	- 5 %
Tasa de descuento	Ambos	13 %	7 %
Cargo de equipo por persona	Externo	+ 15 %	- 15 %
Costo de materiales por unidad	Externo	+ 10 %	- 10 %
Otros costos	Ambos	+ 10 %	- 10 %
Tasa de impuesto	Externo	40 %	25 %

tros y los factores más inciertos o importantes para la organización.

ESCENARIOS FORZADOS

Al identificar un rango de incertidumbres y factores que puede tener un impacto en la GIINT, se desarrollaron los escenarios forzados: pesimista y optimista. El caso base se tomó como el escenario “super-libre” y todos los cambios de parámetros externos fueron volcados en el escenario optimista (Tabla 4).

El escenario “sin sorpresas” es el que se basa en los parámetros del modelo existente, donde la administración de GIINT espera se mantenga en el futuro (es decir, el escenario de “negocio habitual”). Posteriormente, los escenarios forzados deben verificarse para determinar su consistencia interna, ya que se requiere de inves-

tigación adicional para determinar los valores realistas de los límites para los parámetros y las relaciones gráficas, de modo que se desarrollen escenarios de “aprendizaje”.

Se discutieron los escenarios forzosos con el personal de gerencia de GIINT, mostrando que existían algunas inconsistencias y supuestos que probablemente afectarían toda la industria, por lo que esto llevó al desarrollo de los “escenarios de aprendizaje” contra las nuevas políticas y estrategias rediseñadas que podrían probarse.

ESCENARIOS DE APRENDIZAJE

Algunas de las combinaciones incluidas en los escenarios positivo y pesimista no eran lógicamente consistentes. Por ejemplo, la suposición de que el costo

disminuiría entre un 10 % y 20 %, mientras que la tecnología a implementar crecía 10 % al año, probablemente no fue consistente con la lógica económica. Es probable que un aumento en la demanda de la tecnología a implementar resulte en un aumento de la demanda de factores de entrada y cause que los costos aumenten en lugar de disminuir, a menos que haya otros cambios compensatorios.

De manera similar, la gerencia de la GIINT opinó que era poco probable la existencia de cambios significativos en la tasa de impuestos en los próximos cinco años, por lo que la mayor parte del costo se mantiene aproximadamente en el mismo nivel. Algunos de los rangos para los cambios de parámetros mostrados en los escenarios forzados también se consideraron bastante extremos.

Finalmente, se generaron algunos «escenarios de aprendizaje» para probar las estrategias para la GIINT. Se consideraron tres escenarios: tesis base (es decir, «operación como de costumbre»); Perspectiva sombría (una combinación de parámetros negativos “consistentes”

en el entorno externo); y el escenario de imagen optimista (basado en una combinación factible de factores positivos que podrían ocurrir en el entorno externo), (Tabla 5).

Se ingresó cada uno de estos escenarios en el modelo usando las funciones del panel de control del Vensim® PLE y se probó cada estrategia contra los escenarios. Los resultados de las pruebas de escenarios (Tabla 6) indican que la estrategia “Optimista” es sólida, cuando se toman en cuenta los escenarios futuros plausibles alternativos. La estrategia resultante es mejor que la estrategia del caso base en cada una de las medidas de desempeño, es decir, menores tiempos relativos de implementación de tecnología; mayor relación relativa de beneficios y mayor tecnología a implementar. La estrategia 3 (optimista) tiene un desempeño ligeramente bueno desde el punto de vista financiero para el escenario de imagen optimista. En general, las estrategias ayudan a la gerencia de GIINT a abordar los problemas estratégicos que se describieron al comienzo de este caso.

Tabla 5. Escenarios de aprendizaje para la tesis de la estrategia de la GIINT

Parámetro externo o relación de comportamiento	Escenario “Tesis Base”	Escenario “Perspectiva Sombría”	Escenario “Imagen Optimista”
Beneficio estándar por tecnología	\$ 10000	\$ 9500	\$ 10300
Tasa de implementación de nueva tecnología	5 % p.a.	2 % p.a.	8 % p.a.
Efecto del beneficio en la tecnología a implementar	1.5/1.25/1/0.6/0.1	1.2/1.1/1/0.4/0.05	1.6/1.3/1/0.7/0.2
Efecto de la calidad en la tecnología a implementar	1.2/1.1/1/0.9/0.8	1.1/1.05/1/0.8/0.6	1.3/1.15/1/0.95/0.9
Efecto de la calidad en los beneficios	1.1/1.05/1/0.95/0.9	1.05/1.25/1/0.8/0.6	1.2/1.1/1/0.975/0.95
Tiempo de implementación en la industria	2.5 meses	2.2 meses	2.8 meses
Tiempo en la organización (meses)	60/48/36/20/0	45/36/27/15/0	75/60/45/25/0

Tabla 6. Resultados seleccionados para las pruebas de “aprendizaje”

Estrategia	Escenario “Tesis Base”	Escenario “Perspectiva Sombria”	Escenario “Imagen Optimista”
Tasa de tiempo relativo de implementación			
1 “Tesis Base”	1.17	1.33	1.04
2 “Perspectiva Sombria”	1.05	1.20	0.94
3 “Imagen Optimista”	1.05	1.20	0.94
Tasa de ganancia relativa			
1 “Tesis Base”	0.98	0.87	1.00
2 “Perspectiva Sombria”	0.99	0.92	1.01
3 “Imagen Optimista”	0.99	0.92	1.01
Tecnología a implementar (%)			
1 “Tesis Base”	23.7	22.1	23.8
2 “Perspectiva Sombria”	24.1	23.1	24.2
3 “Imagen Optimista”	24.1	23.1	24.2
Valor presente neto (\$m)			
1 “Tesis Base”	1.12	0	2.35
2 “Perspectiva Sombria”	1.53	0.30	2.87
3 “Imagen Optimista”	1.50	0.20	2.88

CONCLUSIONES

Durante este proyecto se han diseñado, desarrollado y aplicado los conceptos de pensamiento sistémico a la gestión e introducción de nueva tecnología en la industria manufacturera. El propósito es lograr una perspectiva común para comunicar la teoría de la introducción de nuevas tecnologías a académicos, gerentes y responsables de políticas, quienes pueden tener diferentes experiencias y conocimientos especializados a través del modelo planteado

El enfoque estratégico de PSyM descrito, brinda una visión y un aprendizaje considerables para todos los participantes en la GIINT, incluidos los gerentes de las organizaciones involucradas en la GIINT y el personal de apoyo de los corporativos.

El modelo de GIINT aborda los problemas estratégicos que se describieron al principio del documento y permite definir el papel y la contribución única que el pensamiento sistémico aporta para el desempeño en la introducción de nuevas tecnologías en la industria manufacturera.

Permite definir los principios sistémicos fundamentales que guían a las organizaciones a tener un pensamiento, decisión, acción e interpretaciones eficaces para una mejor comprensión y manejo de dominios problemáticos complejos, así como para disminuir el tiempo

promedio de implementación de nueva tecnología en la industria manufacturera.

Al analizar el modelo de GIINT, los gerentes pueden considerar las decisiones de acuerdo con el efecto de estas en la actividad de implementación de nueva tecnología de su empresa, pueden identificar los elementos que influyen en la implementación de tecnología y relacionarlos con los efectos en diferentes áreas de la empresa.

Las organizaciones que crean las políticas en las empresas pueden identificar cómo el entorno afecta la actividad de implementación de nueva tecnología en una empresa y cómo se pueden minimizar los obstáculos que este entorno puede crear para las empresas. El modelo de GIINT ilustra las influencias a corto y largo plazo de las decisiones de los gerentes y los factores externos sobre los resultados de la GIINT, así como entre los diferentes factores del sistema. Por lo tanto, el modelo puede utilizarse como una herramienta de planificación de estrategias, esto se realiza mediante la simulación de escenarios de acción diseñados para demostrar los efectos de diferentes decisiones sobre el resultado de la GIINT y sobre los factores que influyen en la innovación misma tanto a corto como a largo plazo.

Utilizando la capacidad de evaluación del modelo se identificaron las debilidades de cada sector y se propuso un escenario para mejorar estas; utilizando el mo-

delo de GIINT se diseñaron escenarios para demostrar los efectos de las influencias externas en la actividad de GIINT, así también para mostrar cómo los resultados de la simulación se pueden usar para minimizar la influencia negativa o para maximizar las oportunidades que el ambiente ofrece.

REFERENCIAS

- Ackoff, R.L. (1989). From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, pp. 3-9.
- Checkland, P. (1999). *Systems thinking, systems practice: Includes a 30-Year retrospective*. Chichester: Wiley.
- Coyle, R.G. (1996). *System dynamics modelling: A practical approach*. London: Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600682>
- Gharajedaghi, J. (2011). <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600682>
- Keating, C. (2009). Emergence in systems of systems: Innovations for the 21st. Century. En Jamshidi M., *Systems of Syste*, Hoboken: Wiley & Sons Inc., pp. 169-190.
- Keating, C., Calida, B., Souza-Poza, A. & Kovacic, S. (2016). Systems thinking. In Farr J.V., Gandhi S.J., & Merino D.N., *Engineering Management Handbook*, pp. 245-297. American Society for Engineering Management.
- Keating, C., Jacobs, D., Sousa-Poza, A. & Pyne, J. (2001). Advancing sociotechnical systems theory. *Proceedings of the American Society for Engineering Management*, pp. 336-341. Hunstville, AL.
- Maani, K.E. & Cavana, R.Y. (2007). *Systems thinking, system dynamics: Managing change and complexity*. New Zealand: Pearson Education.
- Monat, J. P. & Gannon, T.F. (2015). What is systems thinking? A review of selected literature plus recommendations. *American Journal of Systems Science*, 11-26.
- Rittel, H. & Webber, M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Science*, 155-169.
- Schoemaker, P.J. (1995). Scenario planning: A tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*, 25.
- Senge, P.M. (2006). *The fifth discipline, the art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday.
- Skyttner, L. (1996). *General systems theory: An introduction*. Philadelphia: Trans-Atlantic.