



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA-TECNOLÓGICA PARA
LA TOMA DE DECISIONES EN NUEVAS TECNOLOGÍAS
EN CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA CON
ENFOQUE DE SISTEMAS**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**DOCTOR EN INGENIERIA
INGENIERÍA DE SISTEMAS - PLANEACIÓN**

PRESENTA:

HÉCTOR ADRIÁN MARTÍNEZ BERUMEN

TUTOR:

DR. CARLOS E. ESCOBAR TOLEDO

2012



JURADO ASIGNADO:

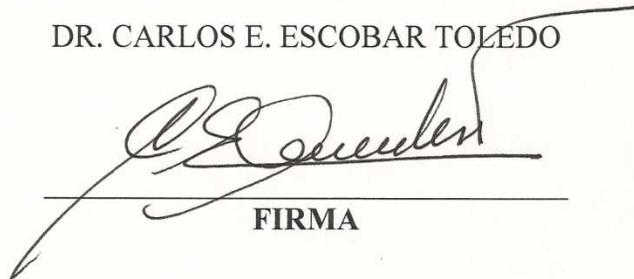
Presidente: Dr. FELIPE LARA ROSANO
Secretario: Dr. RAFAEL LOYOLA DÍAZ
1er. Vocal: Dr. CARLOS E. ESCOBAR TOLEDO
2do. Vocal: Dr. FRANCISCO LÓPEZ-SERRANO RAMOS
3er. Vocal: Dr. JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.

TUTOR DE TESIS:

DR. CARLOS E. ESCOBAR TOLEDO



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Escobar Toledo', is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

FIRMA

Dedicatorias

A mi esposa Aleksandra. Gracias por ser parte de mi vida, y por acompañarme y apoyarme en este proyecto, desde que era un sueño difuso, hasta hoy, en que ese sueño es una realidad.

-- Didn't they always say we were the lucky ones?

A mis padres. Con mi cariño, mi agradecimiento y mi admiración por siempre.

A Miguel, Rocío, Jesús Eduardo, Tania, Miguelito y Kitty.

AVpcs

Agradecimientos

A la UNAM, por recibirme y fortalecer mi desarrollo académico. Agradezco el haber podido cumplir mi sueño de formar parte de esta institución, por la cual siento una profunda admiración.

A CIATEQ, por brindarme la oportunidad de seguirme desarrollando.

Al Dr. Carlos Escobar, por ser mi maestro en toda la extensión de la palabra, a quien agradezco por apoyarme, guiarme y compartir conmigo sus conocimientos durante el desarrollo de este proyecto.

A los Doctores Felipe Lara Rosano, Rafael Loyola Díaz, Francisco López-Serrano Ramos y José Luis Fernández Zayas, quienes mediante sus comentarios y recomendaciones, contribuyeron de forma muy valiosa con mi tesis.

Al Ing. Fernando Baquero y al Ing. Víctor Lizardi, por apoyarme en el logro de este proyecto.

A mis amigos, quienes han compartido conmigo este trayecto, infundiéndome ánimo.

A Rosy, por su hospitalidad y apoyo. Y también a Mika, por recordarme que en esta vida, la actitud es lo que cuenta.

Agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM. Proyecto IT02112: *“El ciclo de vida exergético como criterio para el uso eficiente de energía y el desarrollo sustentable en la evaluación multicriterio de largo plazo para plásticos de la demanda final, considerando procesos de la industria petroquímica”*. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida para la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	10
1.4 CONTRIBUCIONES	11
1.5 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	12
II. BASES TEÓRICAS Y ESTADO DEL ARTE	17
2.1 MARCO TEÓRICO	17
A.ENFOQUE DE SISTEMAS	19
B.ENTROPÍA	38
C.PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y TECNOLÓGICA.....	49
D.TOMA DE DECISIONES Y MÉTODOS MULTICRITERIO.	63
E.GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO Y DESARROLLO DE PROYECTOS EN CENTROS DE I+D.....	72
2.2 SUMARIO DE LAS BASES TEÓRICAS DEL PROYECTO.....	82
2.3 MARCO HISTÓRICO Y CONTEXTUAL.....	85
III. BASES Y MÉTODO PARA EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA	131
3.1 MÉTODO PARA CONSTRUIR UN MODELO SISTÉMICO CONCEPTUAL	131
3.2 DESARROLLO DEL MODELO SISTÉMICO-CONCEPTUAL.....	137
IV. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN NUEVAS TECNOLOGÍAS.....	157
4.1 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES EN NUEVAS TECNOLOGÍAS EN UN CENTRO PÚBLICO DE INVESTIGACIÓN.	157
4.2 EVALUACIÓN DE LA ENTROPÍA DEL SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES [ENTR]	226
4.3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN NUEVAS TECNOLOGÍAS	232
V. EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA	249
VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	263
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DOCUMENTALES.....	273

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gasto en I+D vs. Índice de Desarrollo Humano.	2
Figura 2. Posición competitiva de México 1991-2011.....	3
Figura 3. Relación entre conceptos del marco teórico.....	19
Figura 4. Relaciones entre las funciones de Ingeniería de Sistemas.	32
Figura 5. Disciplinas de la Ingeniería y la tecnología y sus disciplinas básicas.....	34
Figura 6. Actividades principales y flujos de conocimiento en el centro de I+D.	73
Figura 7. El método científico y las principales etapas de las actividades de Diseño y Desarrollo	79
Figura 8. El Gasto Federal en Ciencia y Tecnología vs. el PIB	89
Figura 9. Principales organismos públicos que realizan actividades de IDE	91
Figura 10. Relación entre el GFCyT y los recursos asignados al CONACYT y sus CPIs... 92	92
Figura 11. Relación entre el GFCyT y los recursos asignados al CONACYT y sus CPIs... 93	93
Figura 12. Puntuación SNI por institución 2010	95
Figura 13. Puntuación SNI por institución: CPIs 2010	96
Figura 14. Riesgo y flujos de capital en centros tecnológicos de I+D.	102
Figura 15. Principales etapas de la evolución de CIATEQ.	109
Figura 16. Desarrollo del Modelo de Operación de CIATEQ.....	112
Figura 17. Activos intelectuales, capitales y procesos organizacionales	115
Figura 18. Innovación y creación de valor	115
Figura 19. Actividades y desarrollo de las líneas temáticas (modelo de innovación)..... 117	117
Figura 20. Interacción de las disciplinas y líneas de negocios.	118
Figura 21. Esquema general para revisar y aprobar proyectos internos de investigación.. 119	119
Figura 22. Método para definición de los Sistemas Organizacionales.....	121
Figura 23. Principales funciones e interacciones en la operación del CIATEQ.....	122
Figura 24. Definición de sistemas organizacionales y el ciclo de los sistemas complejos adaptables	124
Figura 25. Principales interacciones de los Sistemas Organizacionales	126
Figura 26. Método para construcción y cuantificación del modelo sistémico-conceptual. 134	134
Figura 27. Modelo sistémico-conceptual.....	138
Figura 28. Analogía de conceptos físicos en las organizaciones.....	142
Figura 29. Representación pendular de las cinco fuerzas de Fine.....	143
Figura 30. Factores de la competitividad en el Centro I+D.	147
Figura 31. Interacción de líneas temáticas y de negocios.....	149
Figura 32. Propuesta Metodológica para apoyar la toma de decisiones en nuevas tecnologías.....	159
Figura 33. Elementos de un modelo de Dinámica de Sistemas.....	163
Figura 34. Aplicación de análisis multicriterio y desarrollo de la arquitectura del sistema.	168
Figura 35. Tablero de datos del software DECISION LAB®.....	174
Figura 36. Relaciones de dominancia: preferencia, indiferencia e incomparabilidad..... 175	175
Figura 37. Función de preferencia entre los criterios a y b.	176
Figura 38. Gráfico de índices de preferencias agregadas donde a, b, c y d son opciones, π (a,b) indica la preferencia de a sobre b y $\pi(b,a)$ indica la preferencia de b sobre a.....	178

Figura 39. Flujos de categorías de PROMÉTHÉE donde a es una opción, $\Phi^+(a)$ es el flujo de categoría dominante y $\Phi^-(a)$ es el flujo de categoría inferior.....	179
Figura 40. Relaciones de PROMÉTHÉE I (I) donde a y b son opciones, $\Phi^+(a)$ es el flujo de categoría dominante, $\Phi^-(a)$ es el flujo de categoría inferior, P^I , I^I y R^I indican preferencia, indiferencia e incomparabilidad, respectivamente.	179
Figura 41. Ordenamiento completo de resultados. Φ = Flujos netos de preferencia.	181
Figura 42. Plano GAIA.....	182
Figura 43. Propuesta metodológica: Selección de sectores prioritarios.	185
Figura 44. Modelo de Dinámica de Sistemas: elementos externos al CPI.	192
Figura 45. Propuesta metodológica: Selección de alternativas tecnológicas.	193
Figura 46. Propuesta metodológica: Selección de esquema de participación o desarrollo.	198
Figura 47. Clasificación de tecnólogos con base en el número de auto-citas y citas recibidas.....	206
Figura 48. Ejemplo de un mapa tecnológico de un proceso petroquímico.....	206
Figura 49. Modelo de Dinámica de Sistemas: elementos internos al CPI.....	210
Figura 50. Alternativas de desarrollo en las temáticas seleccionadas.	211
Figura 51. Valor de la información de los elementos de la propuesta metodológica.	225
Figura 52. Metodología para el desarrollo del sistema de apoyo a la toma de decisiones (DMSS).....	238
Figura 53. Arquitectura del sistema de apoyo a la toma de decisiones (DMSS) para la toma de decisiones en nuevas tecnologías.....	244
Figura 54. Dinámica del cambio organizacional.	250
Figura 55. Potencial de aplicabilidad de las actividades de la propuesta metodológica, en el estado actual del CPI.	259
Figura 56. Plano GAIA.....	260

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aplicación del Método Científico en el proyecto de investigación	14
Tabla 2: Indicadores del Convenio de Administración por Resultados (CAR) de CIATEQ	106
Tabla 3: Atributos de Sistemas Complejos en CIATEQ	129
Tabla 4: Tabla de evaluación multicriterio donde a, a_1-a_n representan opciones y $g_1(a_1)-g_k(a_n)$ la evaluación del criterio g_1 sobre la opción a_1 , hasta el g_k sobre la opción a_n	170
Tabla 5: Funciones de preferencia, P , para el criterio j a través de $d_j(a,b) = g_j(a)-g_j(b)$	172
Tabla 6. Indicadores relacionados a innovación.....	207
Tabla 7: Evaluación de la contribución de la información.....	221
Tabla 8: Aspectos relacionados con la calidad de la información.....	222
Tabla 9: Criterios para evaluar el valor de la información.....	224
Tabla 10: Interpretación del valor de la entropía (S) del sistema de apoyo a la toma de decisiones	230
Tabla 11: Incidencia de las actividades de la propuesta metodológica en los sistemas organizacionales del CPI CIATEQ	256
Tabla 12: Criterios para evaluar la aplicabilidad.....	257
Tabla 13: Evaluación de los criterios de aplicabilidad y flujo neto de preferencia (Φ) considerando el mismo peso para todos los criterios	258

Resumen

Un centro de investigación y desarrollo (centro de I+D), como cualquier organización, debe contar con métodos confiables para planear sus actividades, en relación con el análisis y mejora de su competitividad. Para estas organizaciones, la incursión en tecnologías pertenecientes a un nuevo campo del conocimiento suele ser un proceso regido por un importante nivel de riesgo en el proceso de desarrollo, adopción e implementación de dichas tecnologías, lo que puede implicar la obsolescencia tecnológica, y, por lo tanto, que la competitividad de dichas instituciones varíe sensiblemente a lo largo del tiempo. El objetivo del proyecto es investigar los principales factores asociados a este tipo de decisiones, y definir una propuesta metodológica, basada en un modelo sistémico conceptual, aplicable a Centros Públicos de Investigación y Desarrollo (CPIs) del CONACYT, específicamente los orientados al Desarrollo Tecnológico, los cuales se conciben como un sistema complejo, y por ello, con múltiples interrelaciones y diversos actores en cada parte del sistema, para el análisis y toma de decisiones con criterios múltiples, respecto a la factibilidad de desarrollarse en un área del conocimiento, hasta entonces inexplorada, o explorada parcialmente por la organización. El modelo sistémico conceptual desarrollado -y por lo tanto la propuesta metodológica resultante-, se fundamentan en los conceptos de teoría de sistemas, planeación estratégica y planeación tecnológica, y tiene el objetivo de prevenir la obsolescencia tecnológica, en el marco de la estrategia general de la organización. La propuesta considera el análisis del riesgo que la organización enfrenta como producto de este tipo de decisiones, evaluado a través del concepto de entropía, el cual se define para este trabajo, a partir de los conceptos de la teoría de la información.

Palabras clave: Ingeniería de Sistemas, Estrategia de la organización, estrategia tecnológica, entropía organizacional, inteligencia tecnológica, competitividad en centros de I+D, métodos multicriterio.

Abstract

A research and development (R & D) center, like any organization, must have reliable methods to plan its activities, regarding the analysis and improvement of its competitiveness. In these organizations, the incursion on technologies pertaining to a new field of knowledge is a process often governed by a high level of risk during the development, adoption and implementation of these technologies, which may imply technological obsolescence, and hence, that the competitiveness of these institutions vary considerably over time. The project aims to investigate the main factors associated with these decisions, and define a methodological proposal, based on a systemic conceptual model, applicable to CONACYT Public Research and Development Centers, (which are conceived of as complex systems, and therefore, with multiple relationships and different actors in every part of the system), to analyze and support decision making with multiple criteria, regarding the feasibility of developing in an area of knowledge, hitherto unexplored, or partially explored by the organization. The developed systemic conceptual model, (and therefore, the resulting methodological proposal) is based on the concepts of systems theory, strategy planning and technology planning, in order to prevent technological obsolescence in the context of the overall organization's strategy, and consider the analysis of the risk faced by the organization as a result of these decisions, evaluated through the concept of entropy, which is defined in this work from the concepts of information theory.

Keywords: Systems Engineering, organizational strategy, technology strategy, organizational entropy, technology intelligence, competitiveness of R & D centers, Multi-Criteria methods.

I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

1.1 Introducción

El desarrollo eficiente de un país depende de su habilidad para asimilar y generar conocimiento y para transformar cualquier recurso a su disposición en otro de mayor valor agregado. De acuerdo al CONACYT (2011), uno de los principales retos de México es producir bienes y servicios de alto valor agregado a partir del conocimiento científico y tecnológico.

Entre los países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OECD, por sus siglas en inglés), México es el país que invierte el menor porcentaje de su Producto Interno Bruto (PIB) en actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) (OECD, 2011a) y es también el país con mayor nivel de pobreza (OECD, 2011b). El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es un esfuerzo del PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) para evaluar las condiciones del entorno para que las personas puedan desarrollar su máximo potencial y llevar adelante una vida productiva y creativa de acuerdo con sus necesidades e intereses. El indicador se genera mediante la combinación de indicadores de esperanza de vida, logros educacionales e ingresos (PNUD, 2011). La figura 1 muestra la relación entre el gasto

promedio interior bruto en I+D, como porcentaje del PIB (obtenido a partir de los datos 2003-2010, excluyendo Chile) (OECD, 2011a) y el Índice de Desarrollo Humano 2010 (PNUD, 2011).

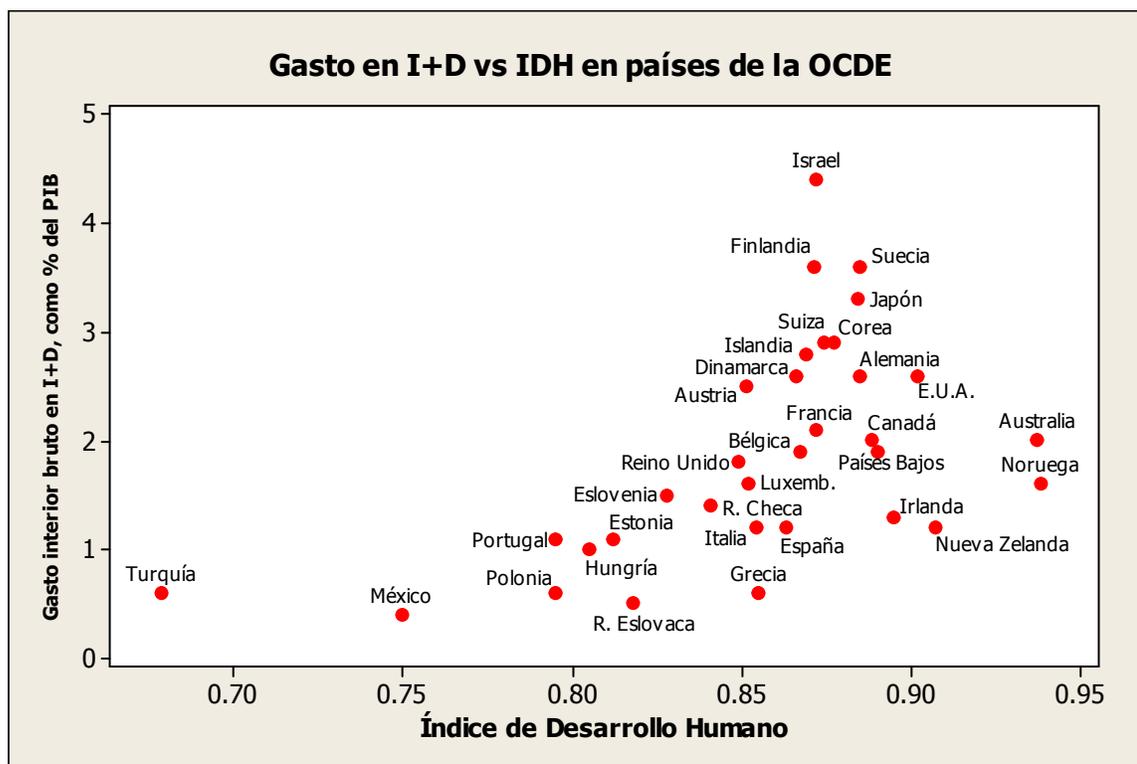


Figura 1. Gasto en I+D vs. Índice de Desarrollo Humano.
(Fuente: Elaboración propia, con datos de: OECD, 2011a y PNUD, 2011)

Si se consideran todos los datos incluidos en la gráfica mostrada en la figura 1, se encuentra que hay una correlación positiva entre el gasto en I+D y el Índice de Desarrollo Humano, con un factor de correlación de Pearson de 0.524, lo que implica que 27.4576% de la variación en el IDH se explicaría por el porcentaje del PIB que se invierte en I+D, y un valor $P = 0.002$, lo que indica una significancia estadística alta, dado que $P < 0.01$. A su vez, si se consideran únicamente los datos de los países que

invierten hasta 2% de su PIB en actividades de I+D, se obtiene un factor de correlación de Pearson de 0.695, lo que implica que 48.3025% de la variación en el IDH se explicaría por el porcentaje del PIB que se invierte en I+D, y un valor $P = 0.000$, lo que indica una significancia estadística muy alta, dado que $P < 0.001$.

El International Institute for Management Development (IMD) realiza anualmente una evaluación de la competitividad de las naciones, evaluando y analizando la manera como cada país crea y mantiene un ambiente propicio para la competitividad de las empresas. La figura 2 muestra la posición competitiva de México del 1991 a 2011. Como puede apreciarse en la figura, la posición competitiva de México disminuyó sensiblemente después de 1994, sin que a la fecha haya podido recuperarse.



Figura 2. Posición competitiva de México 1991-2011.
(Fuente: Elaboración propia, con datos del IMD 1991-2011)

El crecimiento sostenido de México requiere de un gran esfuerzo de desarrollo tecnológico e innovación, por lo que el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación

se debe situar “al mismo nivel de desarrollo de la economía mexicana y de su ubicación internacional” (Loyola y Paredes, 2008). Las actividades de Investigación y Desarrollo producen resultados a largo plazo, por lo que apoyar estas actividades debe considerarse como una acción estratégica para el país, ya que "ser sistemáticamente compradores de conocimiento extranjero es muy costoso, e insostenible en el largo plazo" (Fernández-Zayas, 2008). Si adicionalmente se considera que se requieren elevadas inversiones y que a sus resultados se les atribuye el carácter de bien colectivo, estas actividades “no pueden dejarse exclusivamente al libre juego del mercado, porque podrían dar lugar al otorgamiento insuficiente de recursos, lo que retardaría el desarrollo global del país” (Escobar-Toledo y Kunsch, 2007).

Las actividades en ciencia, tecnología e innovación, deben ser normadas mediante políticas públicas y leyes emanadas de los gobiernos. En México, dichas actividades se regulan de acuerdo a la Ley de Ciencia y Tecnología y al Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI), el cual considera a los Centros Públicos de Investigación como un recurso estratégico para fortalecer y desarrollar el nivel tecnológico del país y su capacidad de innovación.

En este trabajo, el concepto de innovación se entiende como el proceso mediante el cual se crea, produce, asimila y explota un producto tecnológicamente nuevo (European Commission, 1995), cuyas características intrínsecas, o el uso para el cual esté destinado, difiere significativamente de otros productos existentes.

Estas innovaciones pueden involucrar tecnologías radicalmente nuevas, o pueden estar basadas en una nueva combinación de tecnologías existentes. Dada la relevancia del tema de la innovación para México, en el 2006 se propuso integrar a la innovación en el eje de las políticas públicas nacionales (Foro Consultivo Científico y Tecnológico, 2006); sin embargo, la instrumentación real de esta propuesta en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, entendiendo a la innovación como el fruto de un intenso trabajo entre la ciencia básica e investigación aplicada, continúa pendiente en la agenda nacional, dado que “el país sigue a la espera de la redefinición del modelo de política científica, pues el vigente no reporta resultados positivos en su fundamentalismo de la tecnología sin ciencia, a la vez que persiste el descuido al urgente fomento del conocimiento” (Ruiz y Loyola, 2009).

En el presente trabajo se concibe a un Centro de Investigación y Desarrollo (Centro de I+D) como un sistema (combinación de elementos reunidos e interrelacionados, que forman un conjunto organizado, tienen un objetivo definido, y están inmersos en un entorno). Dado que en el diseño y gestión de una organización de este tipo confluyen varios factores y perspectivas tanto internas como externas, incluyendo aspectos técnicos y tecnológicos, culturales, sociales, políticos y económicos. Se propone aplicar un enfoque de sistemas, y los conceptos de la ingeniería de sistemas, para desarrollar una metodología mediante la cual se realice el análisis de la situación y proponer una solución al problema que se expone a continuación.

1.2 Problema y objetivos de la investigación

Problemática.

México requiere elevar su nivel tecnológico, para poder competir adecuadamente en el entorno internacional, a partir del desarrollo de tecnologías propias. Según lo reportado por Menchaca (2011), el índice de cobertura tecnológica de México (cociente entre lo que el país exporta sobre el volumen global de las transacciones) ha disminuido de 0.24 a 0.04 en la última década. Es decir: México importa el 96% y vende el 4% de las tecnologías que utiliza. Los Centros Públicos de Investigación (CPIs) juegan un rol importante para lograr este objetivo. Dichas organizaciones requieren un método que les permita reenfocar su estrategia y adaptarse a las condiciones siempre cambiantes del entorno, en relación con el análisis y mejora de su competitividad. Sin embargo, no se ha encontrado en la literatura alguna referencia que trate específicamente el tema de la competitividad y la toma de decisiones en nuevas tecnologías en Centros Públicos de Investigación.

Problema de Investigación.

Para organizaciones dedicadas a la investigación y desarrollo, la incursión en tecnologías pertenecientes a un nuevo campo del conocimiento, implica un alto nivel de riesgo, que puede derivar en pérdida de competitividad del Centro de I+D y, por lo tanto, que la competitividad de dichas instituciones varíe sensiblemente a lo largo del tiempo; por lo que para estas organizaciones es vital contar con herramientas para analizar

sistemáticamente sus estrategias, tomando en cuenta los aspectos tecnológicos involucrados en su quehacer, permitiéndoles mejorar su competitividad, específicamente mediante la evolución de áreas del conocimiento al interior de la organización.

Por lo tanto, estas organizaciones también deben contar con métodos adecuados para planear sus actividades en el mediano y largo plazos, respecto a la mejora de su competitividad, con la finalidad de aumentar la confiabilidad de la estrategia tecnológica para desarrollarse en una nueva área del conocimiento, en el marco de la estrategia general de la organización.

Entonces, el problema del presente proyecto de investigación consiste en determinar un esquema mediante el cual los CPIs, específicamente los sectorizados en el CONACYT, y más concretamente los dedicados a las actividades de Desarrollo Tecnológico, puedan organizar la toma de decisiones en nuevas tecnologías, identificando y controlando los aspectos que contribuyen a desordenar dicha actividad, lo que podría significar un riesgo para la institución. Este problema implica un alto nivel de complejidad, dado que en su solución interactúan una gran cantidad de disciplinas. Es por ello que se utiliza la teoría de sistemas complejos para abordar el estudio del problema, como un marco conceptual que fundamenta el trabajo interdisciplinario (García, 2006).

De acuerdo a lo anterior, la hipótesis sobre la que se fundamenta este proyecto consiste en que es posible desarrollar el esquema mencionado, aplicable en un Centro Público de Investigación, para apoyar la toma de decisiones en tecnologías, identificando y controlando los aspectos que contribuyen a desordenar dicha actividad.

Objetivos de la investigación.

Se propone el desarrollo de una propuesta metodológica, basada en un modelo teórico, de naturaleza sistémico-conceptual, para el análisis de las variables que describen el estado del sistema general y que afectan el comportamiento de un centro público de investigación y desarrollo, para apoyar la toma de decisiones respecto a la factibilidad de desarrollarse en un área del conocimiento hasta entonces inexplorada o explorada parcialmente por la organización. El modelo sistémico-conceptual deberá permitir a los Centros de Investigación y Desarrollo integrar sus iniciativas estratégicas con los aspectos tecnológicos que le permitan mantener y elevar sistemáticamente su competitividad, por lo que se propone que el modelo a desarrollar parta de un análisis profundo de los aspectos tecnológicos y organizacionales en dichas instituciones, así como de considerar a los demandantes de tecnologías para satisfacer sus necesidades, contribuyendo así a elevar la competitividad de sectores productivos del país.

La metodología propuesta podrá servir también para dar mantenimiento a las líneas temáticas en las que la organización se desenvuelve actualmente, previniendo así la obsolescencia tecnológica. Con ello se permitiría, por ende, mantener un enfoque adecuado acerca de la necesidad de consolidar el desarrollo en determinadas tecnologías relevantes, tomando como referencia el plan estratégico-tecnológico de la organización.

Asimismo, se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Un objetivo específico importante de este proyecto, es investigar la relación entre el concepto de entropía y el nivel de riesgo organizacional que supone la incursión en

una nueva tecnología o área del conocimiento, como una manera de prever y evitar el aumento descontrolado de dicha magnitud, considerando los flujos de información que deben producirse entre elementos y subsistemas internos y externos a la organización.

2. En el siguiente objetivo específico, se considera que el proceso de toma de decisiones en el sistema cuenta con diferentes objetivos, por lo que se plantea construir un modelo cuantitativo de decisión utilizando metodologías multicriterio para apoyar en la toma de decisiones respecto de las alternativas propuestas por el plan tecnológico, considerando la posible permanencia en las temáticas actuales o la incursión en nuevas tecnologías.
3. Definir y proponer la arquitectura de un sistema de apoyo a la toma de decisiones, basado en Tecnologías de Información (TIs), que permita contar con información veraz y oportuna para aplicar la metodología propuesta.
4. Evaluar conceptualmente la aplicabilidad de la propuesta metodológica desarrollada, considerando el caso de CIATEQ (acrónimo de su nombre anterior: “Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro”), el cual es un Centro Público de Investigación (CPI) mexicano.

El presente proyecto parte del supuesto de que es posible generar un incremento sistemático, en el largo plazo, de la competitividad de los centros de investigación y desarrollo que decidan adoptar la metodología propuesta, como parte relevante de sus actividades de planeación y gestión estratégica y tecnológica; por lo que la validación empírica de la metodología propuesta, debe realizarse en el largo plazo.

1.3 Justificación

El Centro de I+D requiere una constante e intensa generación de productos y soluciones tecnológicas para subsistir como tal. De lo contrario, la organización puede llegar a convertirse en un proveedor de servicios de menor valor agregado, en donde sólo se trabaja con las tecnologías desarrolladas por otros. Para desarrollarse adecuadamente, el modelo de negocios del centro de I+D debería tener en su base la creación de nuevos productos y la generación de tecnologías propias, elementos primordiales para aumentar el valor agregado de sus actividades y que, consecuentemente, sean susceptibles de integrarse en un esquema de propiedad intelectual.

La misión fundamental de los centros de investigación es apoyar a que la empresa de la cual dependen (en el caso de centros privados) o el sector al cual sirven (en el caso de centros públicos) logren mejoras en la competitividad, a través del análisis y mejora de las tecnologías. Los Centros de Investigación juegan un rol determinante para el desarrollo de un país, dado que su razón de ser es analizar, perfeccionar o sustituir las tecnologías de las organizaciones a las que sirven.

Para cumplir su misión, el CPI debe aumentar la confiabilidad en sus procesos de toma de decisiones respecto a su desarrollo en nuevas tecnologías, con la finalidad de asegurar una correcta alineación de sus estrategias internas con las necesidades del mercado y las tendencias de su entorno tecnológico, aumentando así la efectividad en el aprovechamiento de los recursos con que cuenta, los cuales son limitados.

La importancia de desarrollar una metodología para apoyar en la toma de decisiones radica en que “en general, la toma de decisiones está mucho más cercana a la intuición que a una metodología convencionalmente aceptada.” (UNAM – IIDC, 2011).

El objetivo de este proyecto se relaciona con las Metas de Desarrollo del Milenio (PNUD, 2000), principalmente con la Meta 1 “Erradicar la pobreza extrema y el hambre”. El equipo de trabajo en Ciencia, Tecnología e Innovación del proyecto del milenio de la ONU, liderado por Juma y Lee, pone de relevancia el profundo impacto que el desarrollo en ciencia y tecnología tienen en el logro de las Metas de Desarrollo del Milenio (Juma, C. y Lee, Y. - C., 2005).

1.4 Contribuciones

A continuación se resumen las contribuciones que se espera lograr con este proyecto:

- Una propuesta metodológica, para analizar, planear y apoyar a la toma de decisiones acerca de los aspectos tecnológicos de las organizaciones de I+D y la relación de dichos aspectos con su planeación y gestión estratégica, contribuyendo así a mejorar la competitividad de los Centros Públicos de Investigación en México.
- Se aporta una alternativa para evaluar el riesgo relacionado a la toma de decisiones en un CPI, mediante el concepto de entropía organizacional.
- En la actualidad, existe entre la comunidad dedicada a la investigación en Ingeniería de Sistemas, una intensa discusión sobre la formalización de la metodología de

proyectos de investigación relacionados a esta disciplina, ya que el establecimiento de metodologías de investigación formal no sólo es importante, sino que es fundamental para la creciente madurez y credibilidad de la disciplina. Este trabajo también intenta aportar elementos constructivos que contribuyan al direccionamiento de dicha discusión.

- La disciplina de Ingeniería de Sistemas Organizacionales se encuentra en pleno desarrollo. Otra de las contribuciones esperadas de este proyecto consiste en la definición de un esquema mediante el cual describir al modelo de operación de un Centro Público de Investigación, mediante el enfoque de sistemas y herramientas de la Ingeniería de Sistemas.
- Relacionado con el punto anterior, se espera contribuir con un esquema para evaluar la aplicabilidad de propuestas que implican una transformación organizacional en un CPI descrito con un enfoque de sistemas.
- Asimismo, se espera contribuir con el desarrollo y aplicación de los conceptos de la ingeniería de sistemas en centros de I+D en México.

1.5 Estructura de la Tesis

A continuación se resume brevemente la estructura de la tesis:

- En el Capítulo 1 se presenta una descripción general del proyecto de investigación, con la finalidad de establecer su motivación y finalidad.

- En el Capítulo 2 se presenta la información que establece las bases para el proyecto. Se expone la teoría en la que se fundamenta la investigación, así como el marco histórico y contextual. En este capítulo se describirá la necesidad que motivó el desarrollo de este proyecto, y se establecen los elementos conceptuales que se utilizan para construir la metodología que se presenta en el capítulo siguiente.
- En el Capítulo 3 se presenta el método mediante el cual se desarrolló el modelo teórico-conceptual que sirvió como base para desarrollar la propuesta metodológica. Se presentan los principales elementos considerados, dada su relevancia con la toma de decisiones en tecnologías en un CPI. Como se menciona en este capítulo, dichos elementos se identificaron de acuerdo a lo establecido en las bases teóricas del proyecto que se presentan en el capítulo 2.
- En el Capítulo 4 se presenta la propuesta metodológica desarrollada a partir de las bases presentadas el capítulo 3. Se definen las interacciones de los diferentes elementos conceptuales, para construir una secuencia ordenada, mediante la cual se puede apoyar a la toma de decisiones en tecnologías en un CPI. Asimismo, se propone un método para evaluar la entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones, y se presenta un esquema para estructurar, a partir de dicha propuesta metodológica, el sistema de apoyo a la toma de decisiones, basado en TIs.
- En el capítulo 5 se propone una evaluación conceptual de la propuesta metodológica presentada en el capítulo anterior. Se verificará la integración conceptual de la metodología, así como su aplicabilidad al caso específico del CPI CIATEQ. Cabe mencionar, que la presente investigación se refiere principalmente a este Centro, dado que, como se revisará en el marco histórico y contextual (sección 2.3), los CPIs

se enfocan a diversas disciplinas, y cada uno se organiza de diferentes maneras para cumplir sus objetivos.

- En el capítulo 6 se presentan los resultados y conclusiones del proyecto. Asimismo, se delinear las posibles líneas de trabajo futuro.

La Tabla 1 relaciona la estructura de la tesis con el método científico:

Tabla 1: Aplicación del Método Científico en el proyecto de investigación

Método Científico	Tesis
Observación	Introducción (1.1) Bases Teóricas (Cap. 2)
Preguntas	Problema y Objetivos de la Investigación (1.2)
Hipótesis	Problema y Objetivos de la Investigación (1.2)
Método	Bases y Método para el desarrollo de la Propuesta Metodológica (Cap 3)
Desarrollo o Experimentación	Desarrollo de la Propuesta Metodológica (Cap 4)
Conclusiones	Evaluación de la aplicabilidad (Cap 5) Conclusiones (6.1)
Documentación	Documento de Tesis
Nuevas preguntas	Trabajo futuro (6.2)

En el presente trabajo, como en cualquier trabajo de investigación, las hipótesis se basan en intuiciones, a partir de las cuales se intenta obtener conocimientos más profundos (Holland, 2004). Para tal efecto, la teoría y la metodología son cruciales, ya que proporcionan hitos y señalamientos e indican qué observar y dónde actuar. Con respecto a la formalización de la metodología de investigación relacionada con la Ingeniería de Sistemas, debe considerarse que una de las características de esta disciplina, es que conjunta métodos propios de las ciencias de la ingeniería y métodos pertenecientes a

otros campos del conocimiento, incluyendo las ciencias sociales y la administración. Dada la naturaleza del problema que se aborda (establecido en la sección 1.2), y considerando la cantidad de disciplinas involucradas, cuya interacción forma un “todo mayor que la suma de sus partes”, se emplea un enfoque de sistemas para abordar la complejidad en el proyecto.

En la metodología propuesta, se ha dividido el sistema general en diferentes subsistemas, partiendo de un modelo conceptual integrador, considerando asimismo, la posibilidad de hacer interactuar diferentes modelos cuantitativos y cualitativos, manteniendo una perspectiva global acerca del problema, posibilitando así la identificación de soluciones integrales.

Algunos de los modelos que fundamentan la metodología se encuentran disponibles en la literatura, aunque, como se expondrá en el capítulo 2, son pocas las referencias encontradas que propongan un enfoque integral, ya que la mayoría de los conceptos se encuentran de manera desvinculada y sin continuidad en una discusión congruente y productiva (sinérgica), por lo que ha sido necesario conceptualizar su integración. Desarrollar un modelo conceptual implica procesar e interpretar la información relacionada con la porción de la realidad a conceptualizar, partiendo de un proceso de abstracción (Lara Rosano, 2002). El valor de los modelos conceptuales es importante, ya que sirven para mejorar el entendimiento del sistema en general. Cuantificar los elementos involucrados en el presente proyecto representa un reto en la mayoría de los casos, ya que, dependiendo de la naturaleza del problema, es necesario responder a

interrogantes tales que pongan de relieve el cómo, el porqué y para quién serán contruidos.

Dada su naturaleza, el resultado de este proyecto debe validarse en el largo plazo, por lo que no es práctico plantear la realización de un estudio de caso para validar empíricamente la metodología. En su lugar, se realiza una evaluación conceptual, la cual se presenta en el capítulo 5, con lo cual se espera aportar conclusiones fundamentadas acerca de los resultados del proyecto.

II. BASES TEÓRICAS Y ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo se divide en dos partes principales: en la primera de ellas (2.1) se revisa el marco teórico en el que se basa la investigación. En la segunda (2.3), se revisa el contexto en el cual se realiza el presente proyecto. Se describe de manera general el marco en el cual se desenvuelven los Centros Públicos de Investigación (CPIs) en México, y se describe la problemática que enfrentan respecto a la mejora de su competitividad; asimismo, se describe al CPI CIATEQ, con la finalidad de ubicar la investigación según sus circunstancias particulares.

2.1 Marco teórico

A continuación se presentan los elementos que constituyen la teoría en la que se basa la presente investigación. Los temas se han agrupado en cinco grupos principales, los cuales se describen brevemente a continuación, y se detallan en los apartados siguientes:

- El *enfoque de sistemas* ha dado origen a un número de disciplinas relacionadas, las cuales proponen conceptualizar a cualquier objeto, ya sea físico o intelectual, como un sistema. En este proyecto, se aplican los principios de dichas disciplinas, para conceptualizar a una organización (a un CPI, específicamente) como un sistema.

- La entropía es un concepto abstracto, desarrollado originalmente para describir una característica de los sistemas termodinámicos y que posteriormente ha sido aplicado en diversas disciplinas, para el estudio de otros tipos de sistemas. El concepto de entropía implica definiciones tales como “energía no utilizable en un sistema”, “medida del desorden de un sistema” e “incertidumbre ante un conjunto de mensajes” (según el diccionario de la Real Academia Española consultadas en: [<http://www.rae.es/entropía>]). En este proyecto, se propone aplicar este concepto en la caracterización del sistema de apoyo a la toma de decisiones en tecnologías.
- La planeación es la actividad mediante la cual un sistema organizacional se define y configura a sí mismo, con la finalidad de controlar su complejidad y mejorar su desempeño. En este proyecto se estudia específicamente el caso de la planeación estratégica y la planeación tecnológica, y su interacción en la mejora de la competitividad de Centros Públicos de Investigación.
- La toma de decisiones es un conjunto de actividades que apoyan en la definición detallada de la estrategia definida en la planeación. Se revisan los principales aspectos relacionados con esta actividad, y se estudia el caso de los métodos multicriterio, como una herramienta de apoyo a estas actividades.
- El desarrollo de proyectos constituye la ejecución de la estrategia planteada. Se revisan los esquemas mediante los cuales un CPI desarrolla sus proyectos, y se presenta una propuesta para integrar herramientas de Ingeniería de Sistemas en las actividades de desarrollo de proyectos del CPI.

La figura 3 resume la relación entre los principales temas que han servido como base para la investigación documental y la construcción del marco teórico del proyecto:

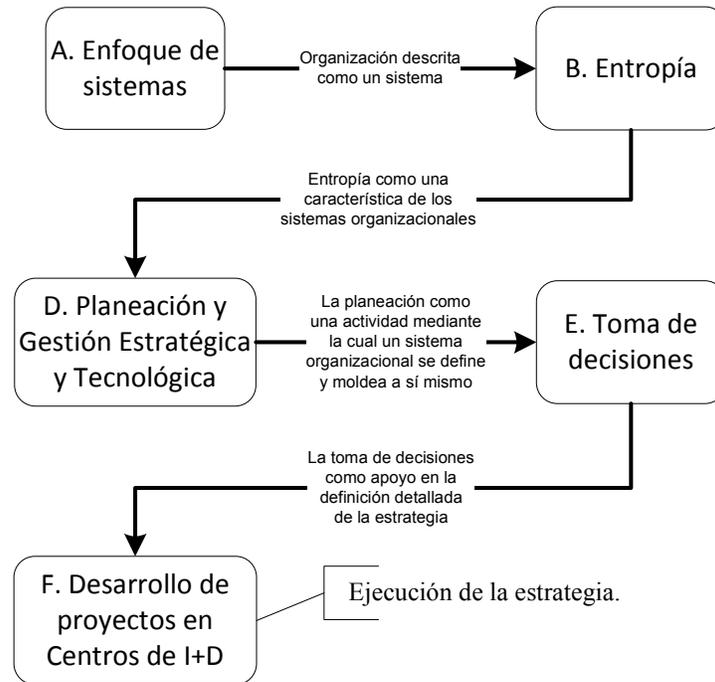


Figura 3. Relación entre conceptos del marco teórico (elaboración propia)

A. Enfoque de sistemas

El Enfoque de Sistemas es la resultante de una teoría basada en el estudio interdisciplinario, que busca esclarecer el conocimiento del "todo" y de la "completitud" relacionada a un número de objetos físicos o intelectuales -a los cuales se describe como sistemas-, con la finalidad de identificar las propiedades comunes a ellos, considerando las partes que los constituyen, y la manera en que dichas partes interactúan para conformar a un "todo mayor que la suma de sus partes".

En general, puede describirse al enfoque de sistemas como yuxtaposición al modo de pensamiento que proviene del positivismo: el enfoque analítico o cartesiano, el cual se basa en la observación (su análisis parte y se fundamenta en evidencias empíricas), generando una descripción detallada de los fenómenos, los cuales se dividen en tantas partes como fuera posible y que fuesen requeridas para resolverlas mejor, revisando las interacciones entre las partes como una suma de los elementos antes considerados (Escobar-Toledo, 2002).

Sin embargo, el enfoque cartesiano o reduccionista ha demostrado ser insuficiente para abordar los problemas de un entorno socio-económico cada vez más complejo. Asimismo, hay un creciente interés por incluir los aspectos de la dimensión humana en el análisis de dichos problemas, la cual había sido dejada de lado, en provecho de la dimensión material. Surge así un cambio metodológico en la aprehensión de los fenómenos, origen del enfoque sistémico (Escobar-Toledo, 2002).

La primera formulación del enfoque sistémico es atribuible al biólogo Ludwig Von Bertalanffy, quien creó la denominación "Teoría General de Sistemas (TGS)" (Von Bertalanffy, 1976), la cual, de acuerdo a lo descrito por él, debería constituirse en un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y ser al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos.

Existen varias definiciones del concepto de "sistema". INCOSE (2010) define a un sistema como: "Una combinación de elementos que actúan recíprocamente, organizados

para alcanzar uno o más propósitos establecidos, mediante un conjunto integrado de elementos, subsistemas o ensamblajes que logran un objetivo definido. Dichos elementos incluyen productos (*hardware, software, firmware*), procesos, personas, información, técnicas, instalaciones, servicios, y otros elementos de apoyo”. Lara-Rosano (2009) establece que un conjunto de elementos conforman un sistema si cumplen tres condiciones:

- Los elementos están relacionados.
- El comportamiento de cada elemento afecta el comportamiento del todo.
- La forma en que el comportamiento de cada elemento afecta el comportamiento del todo, depende de al menos uno de los demás elementos.

De manera general, los sistemas pueden clasificarse como sistemas cerrados o abiertos. Los sistemas cerrados son aquellos en los que no existe interacción entre el sistema y su ámbito (Moreno Bonett, 2002), mientras que los sistemas abiertos interactúan intensamente con su entorno, dado que de él obtienen suministros y en él realizan sus funciones o envían sus productos. Los sistemas abiertos son sumamente complejos; en esta clasificación se cuentan los seres vivos, así como los sistemas económicos, tecnológicos, sociales o administrativos. Si además se considera que dichos sistemas tienen uno o varios propósitos, su grado de complejidad aumenta considerablemente (Moreno Bonett, 2002). Flood y Jackson (1991) propone clasificar a los sistemas de acuerdo a tres perspectivas principales: 1. Perspectiva mecánica, la cual considera a los sistemas cerrados, 2. Perspectiva orgánica, la cual visualiza a los sistemas abiertos, y 3. Perspectiva neurocibernética, la cual conceptualiza a los “sistemas viables”, como

aquellos en los que se enfatiza el aprendizaje activo y el control. Asimismo, consideran a la cultura y a la política como dos factores determinantes para el análisis de sistemas.

Es importante considerar que los límites de los sistemas son arbitrarios: las fronteras de cada sistema se establecen con la finalidad de facilitar su estudio. Como lo señala Ashby (1956): Cada sistema contiene una infinidad de variables, y por lo tanto, puede estar compuesto a su vez por un gran número de sistemas, por lo que cualquier intento por estudiar “todos” los aspectos relacionados a un sistema es irreal. Por lo tanto, sugiere Ashby, deben identificarse y estudiarse los aspectos más directamente relacionados con el interés y objetivo del estudio, establecidos con anterioridad, ya que, al conceptualizar un sistema, “la percepción puede abstraer objetos de su contexto porque capta la forma como estructura organizada y no como mosaico de elementos; existe una captación de rasgos estructurales más que un registro indiscriminado de detalles” (Lara-Rosano, 2002).

De acuerdo a lo anterior, es posible identificar jerarquías en la estructura de los sistemas, de tal manera que un macrosistema está compuesto por un número de sistemas de menor jerarquía, los cuales a su vez están compuestos por determinados subsistemas a una jerarquía aún menor. En esta línea de pensamiento, el universo es el sistema a mayor jerarquía que existe, el cual generalmente es considerado como un sistema cerrado (Hawking, 2011).

De acuerdo a la Teoría de Sistemas, un sistema se define por los principios de apertura, propósito, multidimensionalidad, propiedad emergente, y no-linealidad (Gharajedaghi, 1999). A continuación se presenta una breve descripción de estos conceptos:

- Apertura: Este principio significa que el comportamiento del sistema abierto solo puede entenderse en el contexto de su entorno.
- Propósito (teleología): Este principio significa que debe comprenderse por qué el sistema hace lo que hace. La pregunta “¿Por qué?” se refiere al propósito. Significa que, al desarrollar un sistema, debe tenerse certidumbre acerca de por qué se requiere que el sistema ejecute las funciones definidas.
- Multidimensionalidad: Probablemente es uno de los principios más potentes del pensamiento de sistemas. Implica la habilidad para identificar relaciones complementarias en tendencias opuestas y crear “enteros factibles” con “partes no factibles”.
- Propiedad emergente: La propiedad emergente es la propiedad del todo, no la propiedad de las partes, y no puede deducirse de las propiedades de las partes. Son un producto de interacciones, no una suma de las acciones de las partes. Más aún: no pueden ser medidas directamente. Si se requiere una medición, podría medirse solamente su manifestación (considerar por ejemplo el fenómeno de la vida).
- No-linealidad: Este principio es una expresión de la complejidad del sistema, y significa que las acciones tomadas para producir un resultado deseado pueden generar resultados de magnitud inesperada, o incluso pueden presentarse efectos en sentido opuesto al esperado.

Un sistema puede, en resumen, describirse de la siguiente manera (Escobar, 2002):

Alguna cosa... (identificable)
que hace algo...(actividad=función)
y que, dotada de una estructura,
evoluciona en el tiempo,
dentro de algo, (entorno)
para algo... (finalidad)

Lilienfeld (1978) señala que varias disciplinas, que pueden ser clasificadas bajo el concepto de “pensamiento de sistemas”, surgieron durante el siglo XX, incluyendo, entre otras, las siguientes:

- La Teoría General de Sistemas de Ludwig von Bertalanffy, y su concepto de “sistemas abiertos” (Von Bertalanffy, 1976).
- La cibernética, formulada inicialmente por Norbert Wiener (Wiener, 1948) y Arturo Rosenblueth (Rosenblueth et al., 1943), entre otros.
- La Teoría de la Información y la Comunicación, basada en los trabajos de Shannon, Weaver (1948, 1949), Cherry (1957), entre otros.
- La Investigación de Operaciones, con las descripciones iniciales de E.C. Williams en 1937.
- La teoría de juegos de von Neumann y Morgenstern (1947).
- La dinámica de sistemas, descrita inicialmente por Jay Forrester y muchos otros.

A partir de las cuales surgirían, entre otras, la Ingeniería de Sistemas y la Teoría de Sistemas Complejos.

Las disciplinas anteriores, aunque se originaron de manera separada, convergen en un enfoque común: el enfoque de sistemas. Un indicador de su confluencia es la gran cantidad de referencias cruzadas en la literatura, así como la compartición de términos entre las disciplinas afines a este enfoque (Lilienfeld 1978).

En síntesis: El análisis de sistemas se basa en un enfoque filosófico, que conduce a un marco conceptual y a una colección de técnicas, desarrolladas específicamente para abordar problemas asociados a sistemas complejos, cuyo análisis se beneficia al ser considerado mediante un estudio transdisciplinario. Es importante enfatizar que “la colaboración y la interdisciplinareidad son claves para la innovación, dado que plantean nuevas situaciones metodológicas y conceptuales, promoviendo así un proceso de invención y experimentación continuas” (García, 2006). Como se ha mencionado, la propuesta metodológica presentada en este trabajo promueve la integración de diferentes disciplinas, mediante un enfoque transdisciplinario, con la finalidad de proponer una solución a un problema organizacional.

En las siguientes secciones se describen las principales disciplinas relacionadas con este proyecto. De acuerdo a lo comentado anteriormente, y como se verá a continuación, estas disciplinas convergen y se traslapan continuamente, debido a que comparten un mismo enfoque.

Teoría de los sistemas complejos.

Un Sistema Complejo es aquél compuesto en forma jerárquica por componentes en interacción recíproca, cuyas interrelaciones son de carácter no lineal y dinámico (Lara Rosano, F., 2009). Estos sistemas son extremadamente sensibles a sus condiciones iniciales, de modo que alteraciones muy pequeñas en sus causas son capaces de provocar grandes diferencias en los efectos (Sametband, 1999), por lo que la complejidad puede generar comportamiento inesperado e impredecible de los sistemas (INCOSE, 2010). Debido a lo anterior, uno de los objetivos en el análisis y desarrollo de sistemas es minimizar este tipo de consecuencias indeseables. Como se verá más adelante, esto puede lograrse mediante la inclusión y contribución de expertos de todas las disciplinas relacionadas con el sistema en cuestión, colaborando bajo un marco metodológico común: el de la teoría de los sistemas complejos.

Frank Hoefflich (2010) menciona que para abordar problemas del mundo actual, es insuficiente partir de enfoques disciplinarios, es decir, a través de la visión de una sola ciencia o disciplina, ya que la mayoría de los problemas de hoy en día son de naturaleza compleja. Dichos retos requieren de una ciencia que involucre procesos integrados y no sus componentes aislados, para romper con la atomización, que dificulta la transferencia de conocimientos. Por lo que es necesario utilizar un enfoque integrador, que logre trascender las barreras disciplinarias.

Asimismo, Lukkonen (2003) señala que, al parecer, en nuevas áreas tecnológicas hay necesidad de alcanzar una base más amplia de conocimiento que antes. Tecnologías de complejidad incremental se desarrollan en redes heterogéneas de colaboración, y la colaboración vertical u horizontal pura no es lo suficientemente larga para describir los patrones de colaboración que prevalecen en estas áreas. Entonces, se perfila el concepto de que la complejidad organizacional puede ser una condición importante e indispensable para el desarrollo de nuevas áreas tecnológicas. Al respecto, vale la pena considerar que en todos de los sistemas bajo estudio existe una interacción de componentes altamente complejos (es decir, seres humanos inteligentes) (Newman, et al., 2006), ya sea como elementos del sistema bajo estudio, o como los “ejecutores” del estudio en sí, por lo que las investigaciones relacionadas con el análisis de sistemas complejos deben considerar este tipo de interacción en determinado momento de su ciclo de vida.

Debido a lo anterior, la Teoría de los Sistemas Complejos tiene profundas implicaciones en la solución de problemas reales, así como en la planeación y gestión de sistemas de ingeniería y de todo tipo de organizaciones e, inclusive, en la creación artística (Lara Rosano, F., 2009).

Según Testa y Kier (2000), un sistema puede ser descrito considerando tres aspectos:

- En primer lugar el sistema tiene una estructura (también llamada forma), la cual puede ser descrita formalmente,
- Un sistema exhibe patrones de comportamiento llamados funciones, caracterizadas por sus propiedades,

Los dos aspectos anteriores constituyen la descripción estática de un sistema, la cual orienta a modelos que no consideran la dimensión temporal, lo cual conduce al tercer aspecto que describe a un sistema complejo:

- La forma y la función de un sistema no son estáticos, sino que cambian con el tiempo, fluctuando dentro de un rango de probabilidad. Esto se describe como la fluctuación de un sistema complejo, cualidad que fue identificada y descrita por Prigogine (1978).

La fluctuación de la forma y la función generan un número de estados formales y funcionales, los cuales tienden hacia un espacio probabilístico, determinado por el conjunto de todos los estados posibles del sistema. Dicho espacio puede considerarse entonces un atractor del sistema en cuestión (Testa y Kier, 2000). En secciones posteriores se hará referencia a esta característica de los sistemas complejos.

Al respecto, es importante señalar que “la realidad de un sistema complejo no puede comprenderse en forma sincrónica, haciendo un corte en el tiempo, sino en forma diacrónica, estudiando las transiciones entre sus fases, desde una perspectiva evolutiva” (Lara Rosano, 2009). Esta consideración es importante al analizar los estados posibles del sistema en cuestión e identificar a los atractores relacionados con su desempeño.

De acuerdo a Gershenson (2007), un sistema es auto-organizante si sus elementos interactúan de forma tal que el comportamiento del sistema es un producto

principalmente de estas interacciones, y no de un sólo elemento ni de una fuente externa. Asimismo, de acuerdo a Gershenson, es importante considerar que el control perfecto de un sistema abierto auto-organizante es una utopía inalcanzable.

Simon (1973) observó que la evolución de los sistemas complejos es más rápida si el sistema en cuestión está compuesto de diferentes niveles de sistemas organizados jerárquicamente, en lugar de estar compuestos únicamente por un conjunto de elementos interactuantes. Es decir: las jerarquías promueven la evolución y adaptación continuas del sistema. Holland (2004) describe a la adaptación como una condición que da lugar al surgimiento de una clase de complejidad que obstaculiza considerablemente nuestros intentos por resolver los más importantes problemas que actualmente enfrenta nuestro mundo, en donde la coherencia y persistencia de cada sistema dependen de una gran cantidad de interacciones, la agregación de diversos elementos, y de la adaptación o el aprendizaje.

Simon (1973) es enfático al establecer que los sistemas complejos se encuentran en todos lados: “en organizaciones administrativas humanas, corporativos de negocios, gobiernos, universidades, iglesias... todas ellas son excelente ejemplos de sistemas complejos”. Al estudiar diferentes tipos de sistemas complejos, se ha encontrado que todos ellos, -ya sea que se trate de sistemas físicos, químicos, biológicos, sociales o artificiales-, comparten propiedades comunes (Simon, 1973). Partiendo de esto, la teoría de sistemas promueve el paralelismo de principios cognoscitivos generales en diferentes campos de la actividad científica y social del hombre. Uno de los primeros desarrollos documentados en el campo de la teoría de sistemas es el realizado por Ludwig Von

Bertalanffy en 1940, en su artículo “Der Organismus als physikalisches System betrachtet” (el organismo considerado como sistema físico), el cual, y gracias al establecimiento de la teoría general de sistemas, representó el fin de la disputa entre promotores de dos corrientes opuestas: la mecanicista y la vitalista.

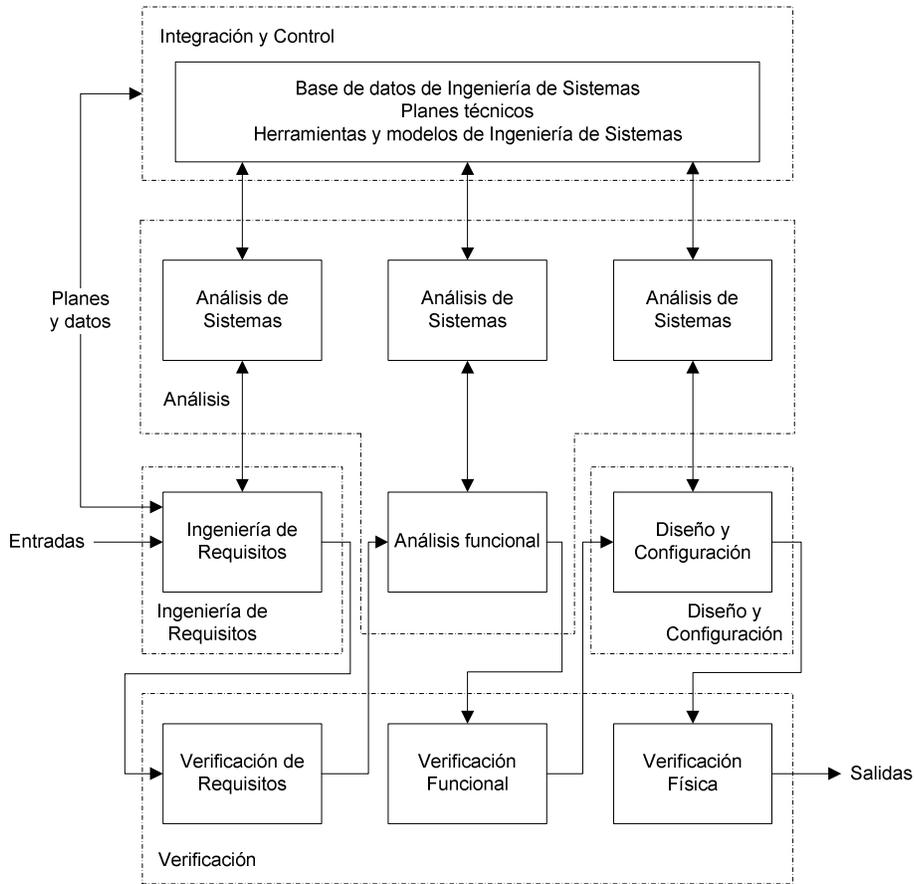
Varios autores (Radner, 1993; Van Zandt, 1998; DeCanio y Watkins, 1998) han señalado que las organizaciones pueden ser modeladas como sistemas de agentes procesadores de información, considerando a un agente como una entidad que actúa sobre su entorno (Gershenson, 2007). Es importante señalar que el objetivo último al diseñar y analizar sistemas complejos artificiales, incluyendo sistemas organizacionales, no es eliminar la complejidad, sino gestionarla para evitar que impacte negativamente en el desempeño del sistema. En efecto, la gestión de la complejidad organizacional es un objetivo importante para cualquier organización, ya sea que lo haga de manera explícita (mediante iniciativas tales como reorganizaciones, implementación de sistemas de gestión normalizados o herramientas informáticas para la gestión de su operación, entre otras) o tácita (sin una articulación aparente de iniciativas). Con tal finalidad, las herramientas de la Ingeniería de Sistemas pueden ser de utilidad.

Ingeniería de Sistemas

En su definición más general, la Ingeniería de Sistemas es un enfoque interdisciplinario y los medios que permiten la realización de sistemas exitosos (INCOSE, 2010). Otra definición señala que “la Ingeniería de Sistemas es el arte y la ciencia que se enfoca en

desarrollar sistemas operables, que cumplen una serie de requerimientos dentro de ciertas restricciones impuestas” (Ryschkewitsch, et al., 2009). La Agencia Espacial Europea (ESA) señala que “La ingeniería de sistemas es un medio efectivo para *"dar a luz"* a las misiones, para convertir una idea inicial en una descripción completa del sistema, con todos los elementos necesarios para integrarse en un conjunto completo” (ESA, 2009). En general, la Ingeniería de Sistemas es una disciplina integrativa y holística. Las herramientas y métodos de la Ingeniería de Sistemas son muy diversas en su origen y aplicación. Sin embargo, todas comparten en su base la integración a partir de un enfoque de sistemas.

En la literatura existen diferentes definiciones y descripciones de las funciones de la Ingeniería de Sistemas (Ryschkewitsch, et al., 2009). La Cooperación Europea para la Normalización Espacial (ECSS) propone un enfoque basado en cinco funciones básicas: 1.- Ingeniería de Requisitos, 2.- Análisis, 3.- Diseño y Configuración, 4.- Verificación, y 5.- Integración y Control (ECSS, 2004). Este esquema resume a la mayoría del resto de los esquemas que se encuentran actualmente en la literatura. La figura 4 presenta la interacción entre dichas funciones y sus principales actividades.



**Figura 4. Relaciones entre las funciones de Ingeniería de Sistemas.
(adaptado de ECSS, 2004)**

Un enfoque como el mostrado en la figura 4 puede ser aplicado a cualquier tipo de sistemas. En este trabajo, el enfoque de sistemas y los conceptos de la Ingeniería de Sistemas son aplicados a sistemas organizacionales, específicamente a un CPI, y a su sistema de apoyo a la toma de decisiones.

Existe relativamente poca literatura que describa la relación entre el enfoque de sistemas y la Ingeniería de Sistemas. Esta última se ha desarrollado como una disciplina independiente durante los últimos años. Rhodes y Hastings (2004) proponen que la Ingeniería de Sistemas (*Systems Engineering*) es una disciplina dependiente de lo que

llaman “Sistemas de Ingeniería” (*Engineering Systems*), sin embargo, actualmente no existe un acuerdo absoluto entre la comunidad dedicada a esta disciplina, respecto al enfoque y alcance de la Ingeniería de Sistemas, y su relación con el Enfoque de Sistemas y la Teoría de Sistemas. En este trabajo, se propone que el enfoque de sistemas es una rama de la filosofía, y se considera a la Ingeniería de Sistemas como una disciplina técnica (ingenieril) que se basa en dicha rama, y que se especializa en la conceptualización, diseño, desarrollo, implementación, mantenimiento y eliminación (*disposal*) de productos, entendiendo como “producto” cualquier tipo de bien, servicio o sistema en general (incluyendo sistemas teóricos o conceptuales). Como parte de este proyecto de investigación, se busca contribuir al debate respecto al fundamento epistemológico de la Ingeniería de Sistemas. La figura 5 muestra una reflexión respecto al origen de algunas disciplinas de la ingeniería y la tecnología; en la figura se busca representar que cada una de esas disciplinas se basan en diferentes disciplinas básicas, y pueden aplicarse en diferentes líneas temáticas, de la misma manera que la Ingeniería de Sistemas puede aplicarse, por ejemplo, en el ramo aeroespacial o en el desarrollo de sistemas organizacionales. Se propone entonces, que la Ingeniería de Sistemas es una disciplina integradora que tiene sus raíces en la Filosofía y en la Lógica, a partir de las cuales, integra a otras disciplinas relacionadas con el desarrollo del sistema en cuestión.

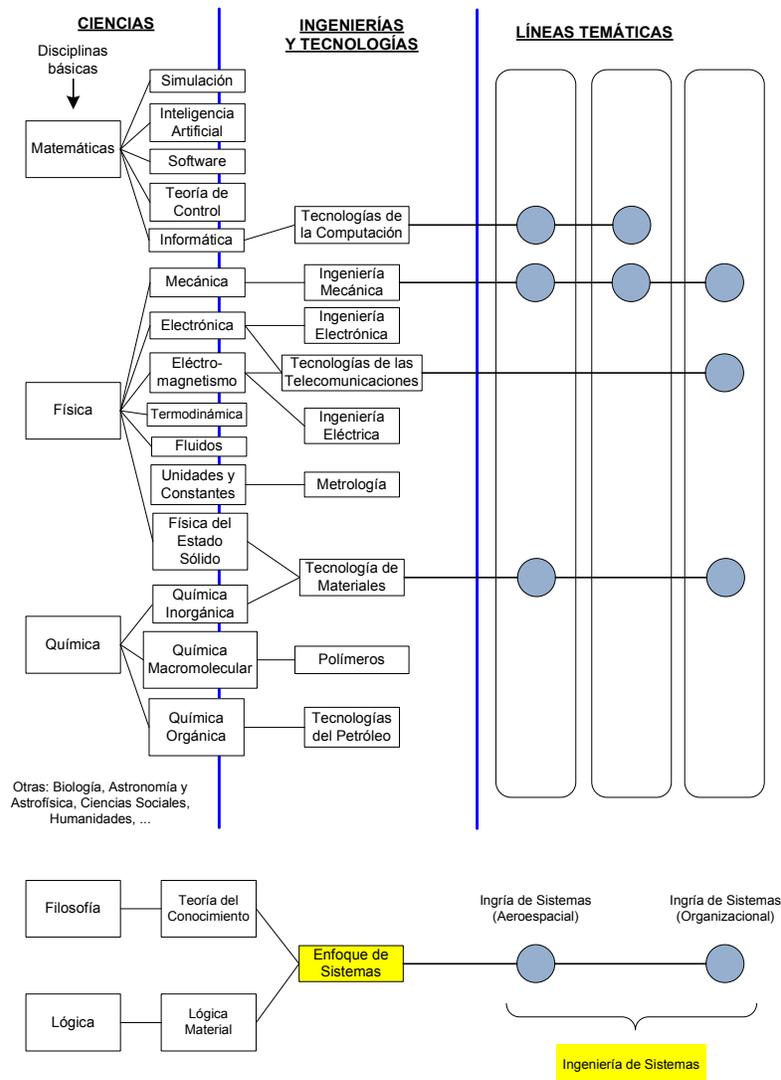


Figura 5. Disciplinas de la Ingeniería y la tecnología y sus disciplinas básicas.
(Elaboración propia)

Desde una perspectiva de teoría de sistemas, la comunicación es el mecanismo básico para gestionar interdependencias entre subsistemas, por lo que uno de los principales objetivos que debe considerarse en la integración de funciones, es la eliminación de barreras de comunicación entre ellas. Cada subsistema desarrolla su propio “lenguaje técnico”. Estos lenguajes técnicos, los cuales tienden a incrementar la eficiencia de la comunicación intradepartamental, son, paradójicamente, responsables del decrecimiento

de la eficiencia en la comunicación interdepartamental.

En síntesis, la Ingeniería de Sistema se enfoca en tres objetivos principales (Sage y Lynch, 1998), los cuales se consideran causalmente ligados: 1) integración de personas, organizaciones y tecnología en equipos multifuncionales e interconectados; 2) incremento de la calidad y oportunidad de las decisiones; y por lo tanto, 3) satisfacer completamente a los clientes, proveyendo productos y servicios de alta calidad que satisfagan las expectativas y necesidades de los clientes.

Dinámica de Sistemas

La complejidad dinámica es un concepto inherente a los sistemas complejos. Senge (1990), ofrece una clara explicación del concepto de complejidad dinámica:

“La complejidad dinámica se describe en situaciones donde la diferencia entre causa y efecto es sutil, y donde los efectos de las intervenciones no son obvios. Los métodos convencionales de pronóstico, planeación y análisis no están equipados para lidiar con esta complejidad dinámica. Cuando la misma acción tiene efectos dramáticamente diferentes, en el corto y largo plazo, hay complejidad dinámica. Cuando una acción presenta un conjunto de consecuencias localmente y un conjunto muy diferente de consecuencias en otra parte del sistema, hay complejidad dinámica. Cuando intervenciones obvias producen consecuencias inesperadas, hay complejidad dinámica ... [consideremos por ejemplo] la complejidad dinámica de una organización, donde

toma días para producir algo, semanas para desarrollar una nueva promoción de mercadotecnia, meses para contratar y entrenar gente nueva y años para desarrollar nuevos productos, desarrollar talento directivo y construir una reputación – y todos estos procesos interactúan continuamente”.

La dinámica de sistemas es una disciplina cuyas ideas fundamentales se desarrollaron durante la década de 1950 y se atribuyen a Jay Forrester del MIT. Básicamente, promueve que cualquier sistema puede considerarse complejo, pero principalmente en términos de “flujos” entre elementos. Los elementos pueden formar ciclos, por lo que el análisis de la retroalimentación es un aspecto importante. Esta disciplina se basa en los conceptos de la teoría de sistemas, desarrollándose mediante las matemáticas de la teoría de control lineal y no-lineal. Asimismo, integra aspectos relacionados con la dinámica social, ya que la estructura incluye aspectos tangibles e intangibles, como las políticas y tradiciones. Así, la Dinámica de Sistemas asume que los eventos se generan a partir de patrones, los cuales son a su vez generados por estructuras (Williams y Harris, 2005).

De acuerdo a Flood y Jackson (1991), dichas estructuras tienen cuatro principales características: Orden, Dirección de la retroalimentación, No-linealidad y Multiplicidad de ciclos. A continuación se presenta una breve definición de cada una de ellas:

Orden:

Número de niveles utilizados para representar la estructura (el número de niveles es el orden del sistema)

Dirección de la retroalimentación

Retroalimentación: influencia sobre los elementos que iniciaron el comportamiento.

Puede ser positiva (aumento del crecimiento o el decrecimiento) o negativa (inhibición o control).

No-linealidad:

Los sistemas bajo influencia de retroalimentación producen crecimiento o declive exponencial a partir de un punto base.

Multiplicidad de ciclos:

La realidad se describe como un conjunto de ciclos que operan simultáneamente.

Sterman (2000), señala que el comportamiento de un sistema depende de su estructura, la cual, como se ha mencionado, se constituye por ciclos de realimentación, flujos y agrupaciones de elementos, así como las no-linealidades creadas por la interacción de la estructura física e institucional del sistema, con los procesos de toma de decisiones de los agentes que actúan en su interior. Sterman (op. cit.) establece que los sistemas dinámicos pueden presentar los siguientes patrones de comportamiento, considerando las diferentes estructuras de realimentación:

- . Crecimiento [realimentación positiva]
- . Búsqueda de metas [realimentación negativa]
- . Oscilaciones (oscilaciones amortiguadas, ciclos límite y caos) [realimentación negativa con retrasos]

. Modos de comportamiento más complejos, tales como un crecimiento en forma de S y rebasamiento (overshoot) y colapso, se crean a partir de una interacción no-lineal de estas estructuras básicas.

Como parte de la evolución y dinámica de un sistema, y según lo señalado anteriormente, es importante considerar aquellos “espacios de probabilidad” hacia los cuales tiende el sistema. En general, puede decirse que “un atractor es una zona del espacio de estados posibles que tiende a ser “visitada” con mayor frecuencia que otras por el sistema” (Aldana-Franco, et al., 2011). El concepto de los atractores se relaciona estrechamente con la entropía de un sistema.

B. Entropía

Origen y significado del concepto de entropía.

La entropía es un concepto abstracto. Bazua Rueda (1992) señala que “la entropía es una propiedad difícil de interpretar, comprender o visualizar en forma sencilla, debido a que carece de una interpretación física asequible”. Desde su origen, y como se mostrará a continuación, varias disciplinas de la ciencia han aplicado este concepto en sus respectivos campos del conocimiento. El concepto de entropía se originó como parte del estudio de la termodinámica. El término fue acuñado en 1865 por Rudolf Clausius, quien le dio este nombre a partir del griego ἐντροπία, que significa evolución o transformación (Ben-Naim, 2008). Clausius desarrolló dicho concepto partiendo de su formulación de la segunda ley de la termodinámica, la cual consiste en que, sin una intervención externa,

el calor siempre fluye de un cuerpo a alta temperatura, a un cuerpo con una temperatura menor, lo cual produce que el primero se enfríe y el segundo se caliente (Clausius, 1850). Esta descripción coincide con la expresión de la segunda ley de la termodinámica propuesta por William Thomson (Lord Kelvin), según la cual, no puede existir una máquina térmica, que mediante un proceso cíclico, bombee continuamente y por sí misma, energía de un reservorio de calor, convirtiéndolo en trabajo (Thomson, 1851). Entonces, mientras que la primera ley de la termodinámica establece que la energía no se crea ni se destruye, sino que solamente se transforma, la segunda ley de la termodinámica establece el sentido en el que se produce dicha transformación. Es importante notar que, aún cuando la segunda ley de la termodinámica puede formularse de muchas maneras, todas conducen a la explicación del concepto de irreversibilidad de los procesos espontáneos. Dado que establece que un sistema cerrado siempre evolucionará hacia su macroestado más probable, es decir: aquél en el que su nivel de entropía es máxima (Bazua Rueda, 1992) (Heylighen, 1990), por lo que la entropía actúa como un atractor del sistema (Heylighen, 1990). La contribución de Clausius (1865) consistió en abstraer el principio que señala que dichos procesos son gobernados por una misma ley, la cual se expresa en una cantidad que determina la dirección de los eventos y que siempre cambia en una misma dirección en el eje del tiempo: la entropía, representada generalmente con la letra S.

Descripción de la mecánica estadística (atomista) del concepto de entropía.

A partir de los fundamentos anteriores, Ludwig Boltzmann propuso en 1877 una interpretación estadística del concepto de entropía, relacionando a esta última con el

número total de microestados caracterizados macroscópicamente por un determinado nivel de energía, volumen y número de partículas. Boltzmann fundamentó su propuesta en la descripción atomista de la materia, estableciendo que la entropía estaría entonces determinada por el número de estados accesibles para el sistema en cuestión, de tal manera que la entropía sería igual al logaritmo del número total de arreglos (estados) de un sistema (Boltzmann, 1877). Esta propuesta fue duramente criticada por los contemporáneos de Boltzmann, dado que buena parte de los científicos aún no creían que los átomos existieran, además de que nunca antes se había relacionado a la probabilidad con la física (Ben-Naim, 2008). Asimismo, esta formulación consideraba que la entropía podría disminuir (aunque con una probabilidad muy baja), lo cual contradecía lo que hasta entonces se había estipulado acerca de la segunda ley de la termodinámica.

A partir de entonces hubo un periodo de estancamiento en el estudio de la entropía, al existir dos teorías aparentemente irreconciliables. Finalmente, la propuesta de Boltzmann encontró aceptación cuando Albert Einstein publicó un artículo que explicaba el movimiento Browniano debido a las fluctuaciones de los átomos que componen a un líquido (Einstein, 1905), con lo cual se corroboró la descripción atomista de la materia, y se aceptó la propuesta de Boltzmann.

Entropía y la teoría de la información.

Otra área en donde se ha aplicado el concepto de entropía, fuera de la física teórica, es el campo de la teoría de la información, la cual es una rama de la teoría matemática de la

probabilidad y la estadística, que estudia la información y todo lo relacionado con ella: canales, compresión de datos, criptografía y temas relacionados. La Teoría de la Información se desarrolló como una disciplina formal a partir del trabajo de Shannon (1948), generando un cuerpo matemático cuantitativo, preciso, objetivo y útil a partir de un concepto hasta entonces subjetivo, ya que introduce el concepto de información como una cantidad mensurable, mediante una expresión isomórfica con la entropía negativa (neguentropía) en física (Johansen, 2002). Shannon (1948) llegó a la conclusión de que la fórmula de la información es exactamente igual a la fórmula de la entropía, sólo con el signo cambiado, en donde se deduce que:

$$\text{Información} = -\text{entropía} \text{ ó}$$

$$\text{Información} = \text{neguentropía}$$

También el pionero en cibernética, Norbert Wiener, determinó la igualdad entre la información y el nivel de organización (o entropía negativa) de un sistema cibernético (Weiner, 1948). Asimismo, O'Connor (1991), señala que al hablar de la “organización” de un sistema, necesariamente implica la existencia de información, dado que ésta es una condición para la definición y caracterización del sistema. En ese sentido, enfatiza que los cambios de entropía están intrínsecamente relacionados a los cambios de estructura, es decir, con los cambios en la organización del sistema.

Gell-Mann (1995) señala que “entropía e información están estrechamente relacionadas. De hecho, la entropía puede verse como una medida de ignorancia. Cuando sólo se sabe que un sistema está en cierto macroestado, la entropía de dicho macroestado mide el grado de ignorancia acerca del microestado en el que se encuentra”. Con respecto a lo

anterior, Ben Naim (2008) señala que la información siempre puede asociarse con la entropía, y respalda la idea de Gell-Mann de que la entropía es sinónimo de “información perdida”.

David Layzer (1988) ha propuesto “dotar de información al demonio de Maxwell” como una manera de reducir la entropía de un sistema: Layzer propuso que si un robot pudiera programarse de antemano con “información” (en sus palabras), eso podría permitirle predecir la secuencia de moléculas rápidas y lentas acercándose a la caja, con lo cual podría organizarlas automáticamente, reduciendo así la entropía del sistema. Entonces, la información puede proveer los medio funcionales para “economizar” y organizar un proceso termodinámico, y aprovechar la energía para realizar trabajo útil (Corning, 1995).

Al estudiar el efecto de la información en los sistemas, algunas líneas de investigación han sugerido distinguir entre los diferentes tipos de información de un sistema. Por ejemplo, Ryan (1972) propone tres maneras diferentes de considerar a la información en distintos sistemas. Dos de ellas se refieren al sistema en sí: la información estructural, en referencia al macroestado del sistema, y la información de enlace, la cual se refiere a los microestados del sistema. El tercer tipo: la información funcional, se relaciona con lo que sucede en el entorno de acción del sistema cuando éste opera.

J.G. Miller (1978) señala que, mientras más complejos son los sistemas (entendiendo por complejidad el número posible de estados que puede presentar cada parte y el número de interrelaciones entre esas partes), mayor es la energía que dichos sistemas destinan tanto

a la obtención de la información como a su procesamiento, decisión, almacenaje y/o comunicación.

Si bien la información en el contexto mencionado suele describir las propiedades funcionales de muchos tipos de mecanismos, dicha cantidad es mucho menos importante que su “poder”, es decir, su habilidad para ejecutar control cibernético sobre la materia o la energía, (la cual es una cantidad que puede ser cuantificable). Asimismo, es importante considerar que la información toma mayor relevancia en los sistemas teleológicos abiertos, los cuales actúan para realizar sus fines (Corning, 1995). Para un sistema de ese tipo, la adquisición y aplicación de conocimiento útil está estrechamente relacionado con su auto-determinación y su desarrollo futuro.

Bailey (2001) señala que la entropía termodinámica se define únicamente en términos de calor y temperatura, y la entropía de Boltzmann se define en términos del comportamiento de las moléculas de un gas, mientras que la entropía, según la teoría de la información propuesta por Shannon, es una medida más abierta o genérica, lo cual significa que puede ser aplicada a cualquier conjunto de categorías para las cuales exista información.

Entropía y su aplicación a sistemas abiertos.

Es preciso notar que los postulados clásicos de la segunda ley de la termodinámica se refieren exclusivamente a estados de equilibrio. Al respecto, Ilya Prigogine comentó:

“150 años después de su formulación, la segunda ley de la termodinámica aún parece ser más un programa que una teoría bien definida en el sentido usual, dado que nada preciso (excepto el signo) se dice acerca de la producción de entropía. Incluso el rango de validez de dicha desigualdad se mantiene sin especificar. Esta es una de las razones principales por las cuales las aplicaciones de la termodinámica se limitaban esencialmente a procesos en equilibrio” (Prigogine, 1978).

Partiendo de los postulados clásicos de la segunda ley de la termodinámica, así como su descripción estadística, y los desarrollos en la teoría de la información, Prigogine, junto con otros autores, desarrollaron el concepto de sistemas disipativos, a partir del libro de Erwin Schrödinger titulado “What is Life?” (1944), en donde se presenta una teoría según la cual, el orden de un macrosistema estaría determinado por el desorden de sus componentes, llamándole a este principio “orden a partir del desorden”. Asimismo, se presenta la llamada “paradoja de Schrödinger”, la cual consiste en que, de acuerdo a las leyes de la termodinámica, el desorden de un sistema cerrado, como el universo, debe aumentar constantemente; sin embargo, los seres vivos parecen mantener un estado de orden que aumenta continuamente, por lo que Schrödinger llegó a la conclusión de que la vida no es un sistema cerrado, sino abierto. De acuerdo a Prigogine (1978), los sistemas disipativos son capaces de permanecer en una condición de desequilibrio, desafiando la tendencia inherente hacia un estado de equilibrio termodinámico, determinado por la entropía, que funge como un atractor del sistema. En términos termodinámicos, un sistema abierto complejo, tal como los organismos humanos, es “una fluctuación gigante, estabilizada mediante intercambios de energía” (Prigogine, 1978).

Prigogine afirma que dichos sistemas son “auto organizables” y pueden evolucionar hacia niveles más altos de complejidad, lo cual ocurre cuando un sistema abierto es llevado a una condición más allá del equilibrio, lo que genera discontinuidades lineales, o inestabilidades, que inclinan el sistema hacia un nivel de mayor complejidad y mayor estabilidad estructural (Corning, 1995). Dicha estructura coherente se convierte entonces en una fuente de orden (Prigogine, 1978). Es interesante notar la relación que Prigogine hace del “orden” como un efecto de la evolución de las estructuras disipativas. A su vez, Heylighen (1990) señala que, dado que estos fenómenos son dinámicos, es conveniente reemplazar la palabra “estructura”, la cual tiene una connotación estática, por “organización”, la cual hace referencia a la característica dinámica del sistema. Asimismo, coincide en que, dado que estos fenómenos aparecen espontáneamente en los sistemas abiertos, debe hablarse de auto-organización, ya que ésta no es determinada por un agente externo.

En concordancia con lo anterior, recientemente se ha propuesto a la entropía como un “indicador de la dinámica”, como una manera de caracterizar a los sistemas dinámicos, para describir “cualquier colectividad de objetos cuya dinámica individual e interacciones mutuas son conocidas, es decir: los sistemas complejos” (Sánchez Sánchez, 2000).

Entropía y “desorden”.

Como se ha mencionado, la entropía implica la tendencia natural de un sistema hacia un estado de equilibrio. Una forma de enunciar el principio de la segunda ley de la termodinámica, es que “todo lo diferenciado o heterogéneo, cuando cesan los efectores que lo han producido, tiende a desaparecer, es decir, a caer en lo homogéneo o indiferenciado” (Lara Rosano, 2002), en otras palabras: el sistema pasa de un estado de desequilibrio (orden) a un estado de equilibrio (desorden), siendo éste último un atractor del sistema, por lo que un estado de equilibrio tiene mayor probabilidad de ocurrencia que un estado de desequilibrio. Esta terminología puede provocar confusión, dado que, a primera vista, tenderíamos a asociar al orden con una mayor simetría u homogeneidad, y al desorden con menor simetría o mayor heterogeneidad (Heylighen, 1990). Por ello, es importante recalcar que el término “desorden” no debe utilizarse en un sentido subjetivo, ya que un sistema complejo autorregulado podría desarrollar una estructura que podría parecer “desordenada” a primera vista, aunque en realidad sea la manera en la que el sistema enfrenta y se adapta a las demandas impuestas por su entorno, lo cual podría no ser evidente para el observador.

Una forma de ejemplificar lo anterior, es considerar el caso de un embudo: el atractor es el orificio inferior hacia el cual tiende a fluir el líquido que se vierte en dicho embudo, por lo que la probabilidad de encontrar líquido es mayor en una región más cercana al atractor que en una región alejada de él. De acuerdo a Lara Rosano (2002), la estadística ofrece una explicación intuitiva para este comportamiento, ya que califica a un fenómeno de diferenciación como “improbable”, con pocas oportunidades de realizarse

y, en cambio, a toda indiferenciación, como “estado probable” con mayor oportunidad de verse realizado. De este modo, “todo efecto que es algo diferenciado, tiende siempre a desaparecer, a caer en lo indiferenciado” (Lara Rosano, 2002).

Se ha mencionado ya, que ciertos sistemas complejos autorregulados pueden sustraerse a sí mismos del efecto de la entropía creciente. Esto se logra gracias a la acción de un número de efectores, los cuales contrarrestan la tendencia ejercida por el atractor que constituye la entropía. Es decir: Si un sistema es aislado, o se le cortan todos sus suministros de materia, energía e información, su nivel de entropía tenderá hacia un máximo (Bailey, 2001). En ese sentido, Ebeling y Volkenstein (1990) definen a la auto-organización como “la formación espontánea de orden en sistemas abiertos exportadores de entropía”.

Heylighen (1990) señala que, para que un sistema disipativo sea estable, requiere de elementos internos de control, que mantengan las heterogeneidades internas, eliminando o contrarrestando las fluctuaciones o perturbaciones que podrían destruirlas. Es importante recalcar que dichas acciones son deliberadas y requieren uso de energía y recursos para lograr que la estructura del sistema evolucione hacia niveles de orden superior. Cuando dichos efectores se anulan, el sistema “sucumbe” al efecto de la entropía y su estructura comienza a degradarse, a homogeneizarse con su entorno. El sistema tiende hacia su estado de mayor probabilidad, el cual es contrario al orden establecido por la estructura; es decir: el desorden. En ese sentido, la entropía puede emplearse como un indicador de la sostenibilidad del sistema, entendiendo a la

sostenibilidad como la capacidad de un sistema abierto para subsistir y desarrollarse aún bajo condiciones cambiantes.

Rosnay (1979) ejemplifica lo anterior en un sistema socio-económico, al cual ingresa un flujo irreversible, en forma de bienes, servicios y trabajo, y emerge en forma de energía perdida y desechos, es decir: el nivel de diferenciación disminuye, por lo que la entropía aumenta, entonces: la sustentabilidad de dicho sistema estaría determinada por su capacidad de disminuir la entropía general del sistema.

Del ejemplo anterior, surge la interrogante respecto a cómo evaluar la entropía general de un sistema, cuando dicho sistema está compuesto por diferentes procesos. Heylighen (1990) propone que para evaluar la entropía general de un sistema, es necesario evaluar la entropía de los diferentes procesos que componen a dicho sistema. Sugiere que si dichos procesos no son simétricos en el tiempo, sería posible definir una función S de las distribuciones de probabilidad de dichos procesos. Esta función correspondería a la entropía del sistema, y estaría determinada por las diferentes trayectorias que los procesos de un sistema pueden seguir, considerando sus restricciones dinámicas, y el estado inicial del cual parten.

El uso del concepto de entropía por otras disciplinas suele dar pie a intensas discusiones, debido a la preocupación acerca del uso indiscriminado del término fuera del contexto de la física. Sin embargo, la investigación del concepto de entropía en otras disciplinas obedece al hecho de que “podría haber un proceso general de entropía y varios subtipos específicos, los cuales deberían ser reconocidos e identificados para distinguir el contexto al cual se refiere” (Bailey, 2001). Es por ello que, en el presente trabajo, se

especifica el uso del concepto de entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones, para el caso específico al que se refiere este trabajo.

C. Planeación Estratégica y Tecnológica.

La Planeación es una de las cinco funciones clásicas de la administración: Planear, organizar, asignar personal (*staffing*), dirigir y controlar (Wehrich y Koontz, 1993). Russell Ackoff definió a la planeación como "el diseño de un futuro deseado y de los medios efectivos para hacerlo realidad" (Ackoff, 1970). En general, puede decirse que "la planeación es un esfuerzo deliberado para considerar las contingencias, tales como riesgos altos o eventualidades que podrían poner en riesgo el logro de los objetivos iniciales" (Dettmer, 2003). Por este motivo, las organizaciones tienen interés en planear para el largo plazo (*long range planning*). La planeación a largo plazo busca contestar las preguntas "¿a dónde vamos? y ¿cómo llegaremos ahí?".

De acuerdo a Mintzberg (1994), las organizaciones planean típicamente por cuatro razones principales:

- 1.- Para coordinar sus actividades
- 2.- Para asegurar que el futuro sea tomado en cuenta
- 3.- Para "ser racionales"
- 4.- Para controlar

Según Moreno Bonett (2002), muchas de las técnicas de ingeniería de sistemas pueden usarse para propósitos de planeación; “entre ellas pueden citarse: modelos abstractos, simulación, análisis de escenarios, dinámica de sistemas, método delfos, conjuntos difusos, opinión de expertos, conferencias de búsqueda, análisis de decisiones, sistemas cognitivos, análisis estadístico de resultados experimentales”, todas ellas integradas mediante el instrumento informático.

Existen muchos enfoques y métodos relacionados a la planeación. En las siguientes secciones se revisarán los conceptos de Planeación Estratégica y Planeación Tecnológica, como el marco en el cual se integran los demás conceptos presentados en este capítulo.

Planeación Estratégica

El término “estrategia” es elusivo, dado que generalmente se distingue entre las "estrategias" y las "tácticas", en donde la estrategia suele referirse a los asuntos "importantes" y la táctica a los detalles acerca de las primeras. Sin embargo, las cosas no son intrínsecamente estratégicas o tácticas, ya que lo que para una persona puede ser estratégico, para alguien más puede ser táctico (Weihrich y Koontz, 1993).

Ackoff (2009) señala dos características de la planeación estratégica: 1.- Los efectos de la planeación estratégica tienen un efecto a un plazo mayor, y tienen una mayor irreversibilidad. 2.- La planeación estratégica tiene una perspectiva amplia, ya que

abarca a la totalidad de las funciones organizacionales, y 3.- La planeación estratégica se orienta hacia los fines últimos de la organización.

En su descripción más general, la planeación estratégica consiste en las siguientes actividades:

- 1.- Establecer el propósito de la organización (comúnmente conocido como “Misión”).
- 2.- Definir el estado que se desea lograr a un mediano o largo plazo (la “visión”).
- 3.- Realizar un ejercicio FODA, el cual consiste en identificar las Fortalezas internas, las Oportunidades que el entorno presenta, así como las Debilidades que podrían significar un riesgo interno y las Amenazas presentes en el entorno.
- 4.- Identificar las acciones estratégicas que utilicen las Fortalezas para aprovechar la Oportunidades, así como las necesarias para eliminar o reducir las Debilidades y sortear las Amenazas.
- 5.- Desplegar la estrategia al interior de la organización.

A partir de ese esquema general de Planeación Estratégica, se han desarrollado diversos enfoques o herramientas específicas a lo largo del tiempo, como por ejemplo el Tablero de Control balanceado (*Balanced Scorecard*) (Kaplan y Norton, 2001), la planeación interactiva (Ackoff, 2001) o la teoría de restricciones (Goldratt, 1993), entre muchas otras.

Dichos enfoques se han desarrollado con la finalidad de eliminar un número de desventajas de la Planeación Estratégica tradicional, entre las cuales se cuentan las siguientes:

- . Falta de flexibilidad de la estrategia, lo cual limita a la organización para adaptarse ágilmente al entorno siempre cambiante.
- . Datos de entrada al proceso de planeación estratégica, los cuales no siempre son obtenidos sistemáticamente, considerando la dinámica del entorno organizacional.
- . Limitada integración de los diferentes aspectos internos necesarios para el logro de los objetivos establecidos (falta de visión holística de la organización).
- . Los participantes en el proceso de planeación, quienes no siempre consideran a todas las funciones que deberían estar involucradas en dicho ejercicio.
- . El despliegue deficiente de la estrategia hacia el interior de la organización.
- . Instrumentación y asignación deficiente de recursos para ejecutar los planes.
- . La falta de seguimiento y actualización continua de los planes realizados.
- . La poca retroalimentación respecto a los objetivos establecidos y el desempeño real, como dato de entrada para el control durante la ejecución del plan y del siguiente ciclo de planeación.
- . Además de los anteriores, Mintzberg (1994) señala que los planeadores son reacios a evaluar sus propios esfuerzos, comparando lo que hacen contra lo que obtienen.

Respecto al origen de las desventajas anteriores, Mintzberg (1994) señala que es necesario diferenciar entre "planear" (verbo), "planeación"(un sustantivo, caracterizando a un proceso formal) y "planes" (como resultados del proceso anterior). El que se cuente con un plan no necesariamente significa que se haya realizando una planeación, o que se haya planeado. En general, Mintzberg (1994) señala que la principal falla se encuentra en el proceso de planeación. Al respecto, Ackoff (2009) señala que un enfoque adaptativo es de gran beneficio para la organización, dado que le permite responder y adecuarse a los cambios internos y externos que surgen durante los procesos de desarrollo e implementación de los planes.

Planeación Tecnológica

En años recientes se ha presentado una tendencia creciente por integrar a la tecnología (y más recientemente a la innovación) como un aspecto clave en la estrategia general de la organización (Escorsa y Valls, 2005).

La alta dirección de los centros de investigación y desarrollo mexicanos tiene la compleja responsabilidad de asegurar que las habilidades y competencias organizacionales se mantengan en niveles adecuados, para lo cual se requiere desarrollar y renovar continuamente las capacidades de la fuerza de trabajo de la organización. La identificación de las habilidades que deben renovarse no es fácil, sin embargo indispensable. El identificarlas rápidamente es aún más difícil (Taylor, 1998), por lo que

la alta administración de este tipo de organizaciones podría beneficiarse del desarrollo de un modelo sistémico que permita tomar decisiones al respecto.

Porter (1985) sugiere los siguientes pasos para formular la estrategia tecnológica, y lograr que se convierta en un "arma competitiva":

1. Identificar todas las tecnologías y sub-tecnologías en la cadena de valor.
2. Identificar potenciales tecnologías relevantes en otras industrias o bajo desarrollo científico.
3. Determinar la ruta probable de cambio de las tecnologías clave.
4. Determinar cuáles tecnologías y cambios potenciales en tecnologías son más significativos para la ventaja competitiva y la estructura de la industria.
5. Evaluar las capacidades relativas de la organización en tecnologías importantes y el costo de realizar mejoras.
6. Seleccionar una estrategia tecnológica, que abarque a todas las tecnologías importantes, que refuerce la estrategia competitiva global de la organización, y que incluya los siguientes aspectos:
 - Un listado de proyectos de I+D, ordenados de acuerdo a su importancia para la ventaja competitiva.
 - Opciones acerca de liderazgo tecnológico en tecnologías importantes.
 - Políticas que fomenten la posición competitiva a largo plazo, en lugar de las presiones de rentabilidad a corto plazo.
 - Los medios para obtener la tecnología necesaria disponible externamente, mediante licenciamientos o similares.
7. Reforzar a nivel corporativo las estrategias tecnológicas de las unidades de negocio.

Interacciones entre la planeación estratégica y tecnológica

Varios autores (Roussel et al., 1991), (Moenaert y Souder, 1990), (Porter, 1990), (Stacey, 1985), (Escobar, 2002), (Ackoff, 1981) proponen un esquema de administración que implica generar un ambiente integral, coherente y consistente entre la I+D y todas las funciones de la organización, es decir, que las estrategias de I+D se encuentren alineadas con la estrategia corporativa y con todas las demás unidades funcionales de la organización para asegurar que los esfuerzos dedicados en I+D cuenten con el mismo nivel de importancia y sobre todo, cooperen, colaboren y apunten en la misma dirección en aquellas decisiones y acciones estratégicas que son esenciales para el éxito y alcance de ventajas competitivas en los mercados.

Comstock (1999), sugiere que debe contarse con los siguientes elementos relacionados con la planeación y gestión tecnológica de una organización:

- Una clara misión y visión para investigación y desarrollo.
- Fuerte interacción de todas las áreas organizacionales, compartiendo estrategias de negocio e identificando necesidades tecnológicas.
- Definición clara de prioridades tecnológicas a nivel organizacional.
- Procesos efectivos para balancear la localización de recursos necesarios para las operaciones, apoyo a los negocios y programas estratégicos.
- Entendimiento de las necesidades actuales y futuras de los clientes clave.
- Comprensión de las tendencias externas y las tecnologías que pueden impactar en la organización.

Con la finalidad de potenciar los elementos anteriores, en los últimos años se ha consolidado en las organizaciones tecnológicas la figura de la dirección de tecnología (CTO por sus siglas en inglés), la cual tiene entre sus funciones principales la planeación y gestión de la estrategia tecnológica a nivel organizacional. Esta dirección asume el peso de las mejoras tecnológicas internas y externas; sin embargo, es claro que la innovación no es responsabilidad exclusiva de esta área, sino que es una responsabilidad compartida en toda la organización (Smith, 2004).

Las industrias de alta tecnología se caracterizan por tasas de cambio más rápidas. (Shanklin y Ryans, 1984), por lo que las organizaciones dedicadas a la Investigación y Desarrollo requieren un nivel de flexibilidad superior al requerido por las organizaciones tradicionales para atender los requisitos de estas industrias. Lo cual podría parecer contradictorio, si se considera que los procesos de investigación se rigen por métodos rigurosos. Algunas de las principales necesidades detectadas en una organización tradicional de I+D son las siguientes (Hahn et al., 2007):

- La organización no responde con la suficiente velocidad a las oportunidades.
- La organización no explota exhaustivamente sus fortalezas.
- Existe duplicidad dañina y competencia interna.
- Los clientes reciben mensajes mixtos.

Atender estos requerimientos requiere frecuentemente la realización de una reingeniería total, con la finalidad de flexibilizar los procesos, haciéndolos más adaptables y multidisciplinarios.

El modelo de operación organizacional debe definirse de tal manera que permita que la información adecuada sea recibida oportunamente por los tomadores de decisiones. Este es un objetivo primordial, el cual puede lograrse mediante la generación, gestión y explotación ágil de información, teniendo en mente que una gran parte de la complejidad de la organización proviene del hecho de que su desempeño y evolución son conducidas por personas creativas y adaptables que interactúan con sistemas, organizaciones e influencias externas (Cabana et al, 2006). La organización debe enfocarse entonces, en el hecho de que el poder de la información se incrementa proveyendo acceso generalizado a la misma, permitiendo el intercambio de información, y proporcionando a las personas y organizaciones la capacidad de colaborar. Esta capacidad es, precisamente, lo que se necesita para planificar tareas con un elevado nivel de complejidad. (Alberts y Hayes, 2007).

Un aspecto primordial para las organizaciones de I+D es considerar el valor potencial que la tecnología puede tener para crear riqueza e incrementar la calidad de vida. Este tipo de organizaciones enfrena tres retos estratégicos (Abetti, 1989):

1. Explosión tecnológica (alta velocidad de creación de alternativas tecnológicas),
2. Acortamiento del ciclo de vida tecnológico,
3. Globalización de la tecnología y competencia internacional.

La estrategia tecnológica es importante no solo para organizaciones de "alta tecnología", sino para todas. Este enfoque fomenta el análisis del producto y las tecnologías de producción en los cuales se basa su operación. Las tecnologías deben formar los bloques de

construcción de la estrategia, no solo los productos y los mercados. Asimismo, se requiere una orientación actualizada de mercadotecnia, ya que debe de asumir su rol coadyuvando a la máxima explotación de las tecnologías del producto y de producción a través de todo su ciclo de vida. Frecuentemente los responsables de mercadotecnia conciben sus propios roles como exclusivamente dedicados a administrar dinero, mercados y productos sin tomar responsabilidad por las bases tecnológicas de dichos productos o de cómo son producidos (Ford, 1998).

La corresponsabilidad del grupo de mercadotecnia en la estrategia tecnológica de la organización es importante, ya que el mayor costo asociado con la explotación exitosa de una nueva tecnología de producto no es el desarrollo de la tecnología, sino el desarrollo del mercado. Abetti (1989) indica que las compañías son más capaces de identificar una inadecuación en su tecnología y rectificarla, que identificar posibles tecnologías comercializables en su portafolio. Por esta razón, no es trivial determinar que la organización de I+D debe ser ágil y debe de promoverse la eficacia en la toma de decisiones en tres áreas principales: Tecnología, Producción y Mercadeo. Entonces, por lo general la falla en el mercado no se relaciona con la producción de I+D per se, sino con la transferencia y flujos de información entre organizaciones o entre organizaciones e instituciones públicas de investigación. Por otra parte, los costos para explotar y transferir conocimiento científico y tecnológico pueden afectar el éxito o fracaso con el cual dicho conocimiento puede ser utilizado (Mowery, 1983; 1994), razón por la que, uno de los principales problemas que suelen percibirse en organizaciones de I+D es el alto costo de comercializar la tecnología, para colocarla en el mercado, o ponerla a disposición de los agentes sociales (Hahn et al., 2007), de acuerdo a lo cual, las organizaciones desinvertirían

en actividades innovadoras debido a su inhabilidad para apropiarse de todos los beneficios que resultan de estas actividades (Nelson, 1959; Arrow, 1962; Dasgupta y David, 1994).

En años recientes, ha aumentado en las organizaciones la tendencia a adoptar e implantar Sistemas de Gestión como una manera de mejorar la estabilidad en sus operaciones. Sin embargo, las organizaciones se encuentran ante un reto importante al tratar de integrar los diferentes sistemas organizacionales en un modelo de operación integral. Este problema se agudiza al tratarse de organizaciones complejas, tales como Centros Públicos de I+D, los cuales deben desarrollar una cantidad significativa de funciones de diversa índole, y mantener relaciones con un gran número de organismos e instituciones públicas y privadas. A la fecha se encuentran en la literatura especializada algunas propuestas específicas para facilitar la integración de sistemas de gestión, así como metodologías generales para apoyar a la gestión de las organizaciones (por ejemplo PHVA, FODA, Balanced Scorecard, DMAIC) sin embargo no existe un consenso al respecto, que pueda ser aplicado por cualquier tipo de organizaciones, específicamente para Centros Públicos de Investigación.

La innovación como factor de la competitividad.

La innovación es una meta fundamental para cualquier organización, ya que define en gran medida su aptitud de sobrevivencia. Lo anterior aplica también para un centro de I+D, en donde la innovación tecnológica es una variable clave de la competitividad, que se traduce directamente en una ventaja competitiva a largo plazo, no solo para la organización en cuestión, sino incluso para el país en el cual se desarrolla dicha innovación, impactando en la habilidad de un país para llevar al mercado global nuevos productos únicos y con un alto

valor agregado (Leal y Powers, 1997). Según Porter (1985), la introducción de una innovación tecnológica puede permitirle a una organización disminuir los costos y fomentar la diferenciación al mismo tiempo. Considerando lo anterior, es importante que, con la finalidad de mejorar su competitividad, la organización desarrolle una manera consistente para generar innovaciones radicales, promoviendo la disponibilidad del recurso humano para participar en este proceso y obtener nuevas competencias (Herrmann, et al, 2006).

Robert Solow, quien contribuyó a la teoría del crecimiento económico, señala que aproximadamente 90% del crecimiento económico proviene de innovaciones (Solow, R., 1957). Es entonces evidente que el dominio del proceso de innovación es un importante ejercicio de sobrevivencia (Tschirky, 2005) y desarrollo, tanto a nivel organizacional como nacional.

El reto al que se enfrentan las organizaciones tecnológicas, especialmente los centros de investigación y desarrollo de México, consiste en alinear los esfuerzos de Investigación y Desarrollo con la estrategia organizacional, asegurando que estas actividades “concierden con las necesidades futuras del negocio y sus clientes” (Comstock, 1999). Uno de los aspectos principales relacionados con lo anterior, consiste en estructurar las operaciones de manera que se desarrollen programas de respuesta estratégicos que crucen a través de varias áreas de competencia, promoviendo la diversificación como un factor de la competitividad. La innovación, al concebirse como un valor organizacional, podría fomentarse mediante estructura, herramientas, métodos, y en general, promoverse como un aspecto integral de la cultura organizacional.

Como elemento fundamental para el desarrollo de los programas de respuesta mencionados, es fundamental mantener un sondeo sistemático y continuo del ambiente tecnológico, con la finalidad de tomar decisiones mejor informadas (Choo, 1996). El sondeo del entorno puede ser definido como "la actividad de obtener información externa a la organización" (Aguilar, 1967), y es el método mediante el cual los tomadores de decisiones perciben eventos y tendencias (Hambrick, 1982). La obtención de información es un imperativo para comprender los cambios en el ambiente y tiene implicaciones en la toma de decisiones estratégicas (Lozada y Calantone, 1997). La nueva economía obliga a reevaluar la importancia de los activos y recursos con que cuenta la organización, ya que se presenta un cambio estructural a nivel organizacional al reconsiderar cuál es el valor que dicha organización entrega al mercado (Walters, et al, 2002). Siendo la información un activo sumamente valioso para la planeación y gestión tecnológica de una organización.

Sondear proactivamente el entorno tecnológico y de mercado es una actividad importante en la agenda estratégica, ya que esperar a que el cliente o el mercado mismo expresen sus necesidades específicas, resultará en que para la organización sea demasiado tarde para responder adecuadamente al cambio, por lo que es necesario contar con procesos de inteligencia de negocios, interactuando estrechamente con procesos de inteligencia científica y tecnológica, que otorguen información útil para las actividades de innovación. Además, es preciso considerar que la utilidad de la retroalimentación proporcionada por los clientes es inversamente proporcional a la novedad y unicidad de la tecnología involucrada (Comstock, 1999), ya que los clientes pueden proporcionar información valiosa acerca de cómo mejorar un producto, sin embargo, difícilmente podrán identificar y sugerir nuevas tecnologías que sustituyan a los productos ya existentes.

La cuantificación de los esfuerzos de la organización relacionados con la innovación puede redundar en un mejor control y análisis de dichos esfuerzos, sin embargo, la medición de dichos factores es poco frecuente. Con la finalidad de desarrollar métricas apropiadas, el proceso de innovación tecnológica puede ser definido como una magnitud de flujo, mientras que el concepto de tecnología puede definirse como una magnitud acumulativa. El proceso de innovación tecnológica se caracteriza por ser de naturaleza continua, depender de una ruta preestablecida, ser irreversible, y verse afectado considerablemente por la incertidumbre. La tecnología, como el resultado principal de esta innovación, tiene las mismas propiedades que el conocimiento y se caracteriza por: tener un alto componente tácito, ser difícil de transferir, ser asimilada por acumulación, y ser parcialmente apropiable (Nieto, 2004).

Un factor crítico relacionado con el desempeño de los procesos de planeación en Centros de I+D, es la cultura de toma de decisiones imperante en este tipo de organizaciones. Es necesario establecer métodos para evaluación y mejora de la efectividad en la toma de decisiones, incluyendo la exploración de alternativas y la investigación de otros factores relacionados antes de tomar una decisión, con la finalidad de evitar que los grupos directivos sean caracterizados como una "sociedad de debate" más que un cuerpo de toma de decisiones.

D. Toma de decisiones y Métodos Multicriterio.

La toma de decisiones y la gestión estratégica.

Uno de los objetivos de cualquier organización es adaptarse de manera óptima a su entorno, revisando periódicamente su estrategia, conforme el entorno cambia (Kumar and Markeset, 2007). Es por ello que las decisiones, especialmente aquellas de naturaleza estratégica, como lo es para un centro de investigación y desarrollo el definir el ingreso a un nuevo campo del conocimiento, son de suma importancia debido a las implicaciones con el rumbo y configuración estratégica de la institución. Rogers (1995) enmarca la innovación como un proceso de toma de decisiones. Es de esperar que dichas decisiones tengan amplios efectos en los miembros, procesos y estructura organizacionales (Frishammar, 2003), ya que, la estrategia de una organización, debe sobre todo, ser comprendida como la emanación de las estrategias de los actores que se articulan y se concretan en la acción (Escobar, 2001).

Así, la estrategia de la organización emerge de las interdependencias y de las interacciones entre actores a través de un procedimiento racional colectivo. El diseño de estrategias y su correspondiente análisis, conlleva la elección de una línea de actuación futura teniendo en cuenta distintos contextos probables. Siendo este el origen de diferentes modelos que buscan apoyar la toma de decisiones en el complejo entorno actual, donde se requiere de una lógica para analizar los múltiples factores que afectan el alcanzar una o varias metas y la consistencia de los juicios para alcanzar conclusiones válidas (Escobar, 2001).

Uno de los modelos más populares del proceso de toma de decisiones es el propuesto por Simon (1960), el cual consiste en un paradigma de tres fases (inteligencia, diseño y selección), y que se complementa con una fase de implementación. En este paradigma se pueden contener la mayor parte de los otros marcos propuestos (Forgionne, 2000). A continuación se presenta una descripción general de cada una de las fases mencionadas, descritas por Forgionne (2000):

- **Inteligencia:** En esta etapa, el tomador de decisiones observa la realidad, obteniendo un entendimiento fundamental de los problemas existentes o nuevas oportunidades, y adquiere la información cualitativa o cuantitativa necesaria para abordar los problemas u oportunidades.
- **Diseño:** El tomador de decisiones desarrolla un modelo específico, que puede ser utilizado para examinar sistemáticamente la oportunidad o el problema descubierto. Este modelo consistirá de alternativas de decisión, eventos incontrolables, criterios, así como las relaciones simbólicas o numéricas entre dichas variables.
- **Selección:** Esta etapa se realiza utilizando los modelos explícitos para evaluar las alternativas especificadas de manera lógica, y para generar las acciones recomendadas.
- **Implementación:** El tomador de decisiones evalúa los análisis y recomendaciones, considera las consecuencias, adquiere suficiente confianza en la decisión, desarrolla un plan de implementación, asegura los recursos humanos, financieros y materiales, y ejecuta el plan de implementación.

A pesar de la existencia de varios modelos de toma de decisiones, hay relativamente pocos esfuerzos para relacionar la estrategia apropiada de decisión con diferentes situaciones, es decir, para relacionar las estrategias con las circunstancias (Tarter y Hoy, 1998), lo cual constituye un factor de relevancia si se toma en cuenta que las decisiones estratégicas se refieren a directrices de largo plazo y que por lo general buscan lograr cierta ventaja para una organización (Johnson y Scholes, 1999).

Aún cuando se han realizado avances importantes en el avance de la teoría de decisiones, lo cual ha redundado en contribuciones efectivas al modelado del proceso de toma de decisiones, el uso de dichos métodos aún no es generalizado en todas las áreas de la organización (de Almeida y Bohoris, 1995). Además, en la práctica hay pocos intentos de ajustar la estrategia de decisión más adecuada a diferentes situaciones y circunstancias (Tarter y Hoy, 1998).

Frecuentemente, la toma de decisiones en la alta dirección depende principalmente de información financiera interna. Se le da relativamente menos atención a información externa referente a las actividades de los competidores, a la economía general, al ambiente político y social (Marwick, 1994), o a aspectos tecnológicos del entorno. Es por ello que los administradores tecnológicos enfrentan cada vez más problemas de decisiones de grupo. La escala y complejidad de los esfuerzos de investigación, desarrollo y alianzas en nuevos campos de la tecnología, requiere una sofisticada manera de coordinación grupal (Cunningham, 2007).

Al respecto de la calidad de la información utilizada en la toma de decisiones, es importante considerar que la definición de políticas relacionadas con la información es poco frecuente entre las organizaciones (Taylor-Nelson, 1994), lo que implica que la toma de decisiones se basa frecuentemente en fuentes informales de información, aspecto que resulta de interés si se considera que, por lo general, la información utilizada para la toma de decisiones es el factor más importante para el proceso de decisión (Aguilar, 1967), (Keegan, 1974), siendo las fuentes personales de información consistentes con el sondeo irregular e informal lo que tipifica a muchas organizaciones (Thomas, 1980). Por lo que es importante considerar la contribución de la información y de los servicios de información a la toma de decisiones en la organización (Dubois, 1995).

Mintzberg et al. (1976) señala que: "La investigación de registros (relacionados con la toma de decisiones estratégicas) suele ser imposible debido a que los procesos de decisiones estratégicas rara vez dejan rastros confiables en los archivos organizacionales". Lo que frecuentemente impide realizar estudios históricos acerca de los factores que fueron considerados al tomar determinada decisión. Limitándose por ende, la capacidad de aprendizaje respecto a la toma de decisiones en aspectos estratégico-tecnológicos que definen el rumbo de la organización. Dicha carencia de información se encuentra tanto en la información blanda y dura, entendiendo como información blanda la que consiste de imágenes, visiones, ideas y estructuras cognitivas. La información blanda se relaciona a una sola persona y puede caracterizarse como amplia, general y subjetiva. En contraste, la información dura es, o puede ser cuantificada fácilmente y procesada con la ayuda de métodos analíticos. Dicha información es generalmente expresada de manera numérica (Frishammar, 2003).

Es importante considerar también otros aspectos humanos en los procesos de decisiones, tales como el comportamiento de la alta administración al tomar decisiones estratégicas (Frishammar, 2003), por ejemplo en aspectos como el nivel de involucramiento de la alta dirección, lo que se refleja en la capacidad de asegurar que las políticas organizacionales son seguidas en la organización (Scherrer, 2003), o el estilo de liderazgo, ya que éste puede afectar la flexibilidad y, por ende, la racionalidad del proceso de toma de decisiones. Otro aspecto humano que puede afectar el proceso de toma de decisiones es el nivel de ansiedad en el grupo de toma de decisiones, ya que en este caso, es posible que se busque un acuerdo prematuro, lo que redundaría en una toma de decisiones defectuosa (Chapman, 2006).

Hahn et al. (2007) proponen una jerarquía para toma de decisiones en organizaciones tecnológicas:

Nivel 1: políticas relacionadas con toda la organización y temas estratégicos.

Nivel 2: Temas que requieren interacción directa de varias unidades organizacionales.

Nivel 3: Temas que requieren entradas de diversos grupos de la organización.

Nivel 4: Temas contenidos dentro de una unidad específica de la organización.

Es evidente que el proceso de toma de decisiones es sumamente complejo, en especial para aquellas decisiones que implican múltiples factores, muchos de los cuales pueden tipificarse como subjetivos, tal es el caso que se presenta al considerar aspectos relacionados con la tecnología, los que suelen pasar desapercibidos en los procesos de toma de decisiones, tal como nivel de innovación, nivel de conocimiento respecto a un campo del conocimiento, o capacidad de adaptación para determinada tecnología a adquirir. En general, estos problemas se caracterizan por: 1) estructura no claramente definida; 2) contexto donde la incertidumbre tiene un carácter dinámico; 3) cuyas metas pueden ir

cambiando a lo largo del proceso de decisión; 4) donde existen relaciones entre las acciones que se van tomando y la retroalimentación que se deriva de las mismas; 5) es habitual la presión del tiempo; 6) las consecuencias de las decisiones suelen ser de gran trascendencia; 7) y han de cumplirse ciertas normas y metas organizacionales. En estos problemas también el conocimiento y experiencia de los decisores juega un papel importante (Klein, 1993).

Además, y debido a que en las decisiones es necesario tomar en cuenta varias dimensiones y puntos de vista, la toma de decisiones debe considerar múltiples criterios (Figueira, et al., 2005) como son: la relación beneficio/costo, la estrategia organizacional, los riesgos relacionados con el éxito de la implantación de la nueva área del conocimiento, el ciclo de vida de las tecnologías relacionadas con la nueva área del conocimiento, el mercado tecnológico e industrial para esa nueva área del conocimiento y la preparación de los recursos humanos para enfrentar los cambios implicados en la nueva área del conocimiento. Estos criterios servirán para proporcionar un orden de prelación entre diferentes alternativas, entre las que se pueden mencionar sus actividades actuales y las nuevas que resulten de la integración de actividades provenientes de la nueva área del conocimiento.

Métodos multicriterio para apoyar la toma de decisiones.

Con la toma de decisiones utilizando múltiples criterios, sería factible centrar el desarrollo de la institución de acuerdo al presupuesto en el largo plazo, proporcionado en períodos que sean necesarios para su desarrollo integral, de donde, finalmente, se encontrará la cartera óptima de un subconjunto de proyectos de I+DT en el marco del horizonte de planeación. Hitt y Tyler (1991) describen a las actividades racionales de toma de decisiones estratégicas

como “una serie de procesos analíticos, en los cuales se utiliza un conjunto de criterios objetivos para evaluar alternativas estratégicas”.

El objetivo de los métodos de análisis multicriterio, también llamados métodos de análisis con criterios múltiples, es proporcionar a los tomadores de decisiones, herramientas que les permitan resolver un problema donde deben tomarse en cuenta varios puntos de vista (criterios), frecuentemente contradictorios. La primera constatación que debe hacerse, cuando se abordan este tipo de problemas, es que no existe forzosamente una decisión que sea la mejor, simultáneamente para todos los puntos criterios establecidos (Tamiz, 1996).

Los beneficios de estos métodos, incluyen su simplicidad, conveniencia y facilidad de uso (Roy, 1985), además de que son fáciles de aprender e implementar y proveen un camino eficiente para resolver problemas donde se deben considerar múltiples criterios (Escobar-Toledo et al., 1990; Bana e Costa y Vansnick, 1999).

Las técnicas de métodos multicriterio se clasifican en tres grupos:

1. Teoría de la utilidad de múltiples criterios (MAUT, *Multi Attribute Utility Theory*)
2. Métodos de clasificación jerárquica (OM, *Outranking Methods*)
3. Métodos interactivos (IM, *Interactive Methods*)

Los métodos de utilidad de múltiples criterios (MAUT) consisten en la agregación de factores desde el punto de vista de una función objetivo, la cual será optimizada. La función objetivo es el punto principal para el análisis. La suposición que subyace es que las funciones son restrictivas. Sin embargo, si la función de utilidad está disponible para el tomador de decisiones, el problema se reduce a un simple caso de maximización directa de

la función objetivo. MAUT, está soportada por paquetes de cómputo, tales como: “Logical Decision” (Saaty y Vargas, 1994).

Los métodos de clasificación jerárquica (OM), generalmente, se construyen a través de una relación de jerarquías, la cual representa las preferencias del tomador de decisiones. Los OM, suponen que el tomador de decisiones puede, quiere y sabe definir los cambios entre los objetivos (Roy y Bouyssou, 1993). Lo anterior implica que puede derivarse la no agregación de la función de utilidad. Los rangos entre los cuales se analizan los criterios estarán basados en la comparación entre pares. Los paquetes de cómputo que utilizan este tipo de metodologías son: DECISIONLAB (Brans y Mareschal, 1994), ELECTRE (Roy, 1973), MACBETH (Bana e Costa y Vansnick, 1997), entre otros. Los OM, operan como funciones escalares entre las posibles opciones de cada criterio, cuando el tomador de decisiones proporciona pesos a los criterios. El tomador de decisiones analiza con un número dado de parámetros, los cuales establecen las relaciones de clasificación jerárquica.

Por su parte, un método Interactivo (Vincke, 1989) es un procedimiento que consiste en fases alternadas de cálculo y discusión. En cada interacción se examina una acción (o grupo de acciones) y el tomador de decisiones incorpora esa información al proceso de solución. La discusión entre las etapas le permite considerar las propuestas del analista y dar información adicional acerca de sus preferencias, que se introducen en el modelo en la siguiente fase del cálculo. La mayoría de los métodos interactivos propuestos se refieren a programas lineales multiobjetivo. Existen formas de comparar estos métodos para utilizar el más adecuado de acuerdo con las condiciones especiales del problema y obtener el mejor resultado.

El método jerárquico Multicriterio (AHM, Analytic Hierarchy Process) tiene por objeto la descomposición del problema en niveles jerárquicos para determinar en forma clara, a través de la síntesis de los valores de los agentes de decisión, una medida global para cada una de las opciones, priorizándolas o clasificándolas hasta el final. Este método de escalamiento proporcional es usado para asistir a las personas en la toma de decisiones.

La metodología PROMÉTHÉE, la cual se aplica en el presente trabajo, es un método de clasificación jerárquica (*OM, Outranking Method*), y toma en cuenta, por su parte, varias condiciones que son (Brans et al.; Brans y Mareschal, 1984, 1992, 1994, 2002):

1. Consideración de las diferencias entre las evaluaciones de las acciones de cada criterio.
2. Eliminación de los efectos de escala entre criterios enunciados de manera subjetiva u objetiva.
3. Incomparabilidad admitida, conceptualizando las comparaciones de clasificación jerárquica en: preferencia estricta, indiferencia e incomparabilidad, que permitirán la búsqueda de información y las funciones de utilidad para y del tomador de decisiones.
4. Aportación de información suplementaria.
5. Aspectos considerados en conflicto de los criterios.
6. Interpretación correcta de los pesos o importancia de cada criterio.

En los capítulos siguientes se describe la manera como se propone integrar la metodología PROMETHEEm y el software DECISONLAB, basado en ella, para abordar el problema objeto de este proyecto.

E. Gestión del Conocimiento y desarrollo de proyectos en Centros de I+D.

Un Centro de I+D debe ser capaz de explotar la innovación de manera sistemática, controlando la incertidumbre tanto para el creador como para el consumidor de tecnología. Para tal fin, es crucial contar con un sistema de gestión de la tecnología y de la innovación, ya que el proceso de innovación es transversal, colocándose como un elemento fundamental de la planeación estratégico-tecnológica.

Los Centros de I+D pueden contribuir a la mejora de la competitividad en cuatro formas principales:

- Mediante la creación de nuevos productos y generación de tecnologías propias.
- Mediante el diseño y desarrollo para mejora de procesos, (en adelante nos referiremos a este concepto como Diseño y Desarrollo -D&D-)
- Realizando proyectos de ingeniería especializada, y
- Además, como resultado de su *expertise*, un centro público de I+D puede ofrecer servicios o asistencias técnicas en los campos de conocimiento de su competencia, incluyendo servicios de capacitación.

En la figura 6 se muestran las cuatro principales actividades del Centro de I+D y los flujos de conocimiento entre ellas. En la figura se representa que las actividades de innovación detonan y alimentan el desarrollo de las demás actividades. El flujo de conocimientos es mayor de la innovación hacia el resto de las actividades, que en el sentido contrario. Un CPI puede aprovechar sus conocimientos y experiencia para ofrecer servicios estandarizados (“de anaquel”) al mercado.

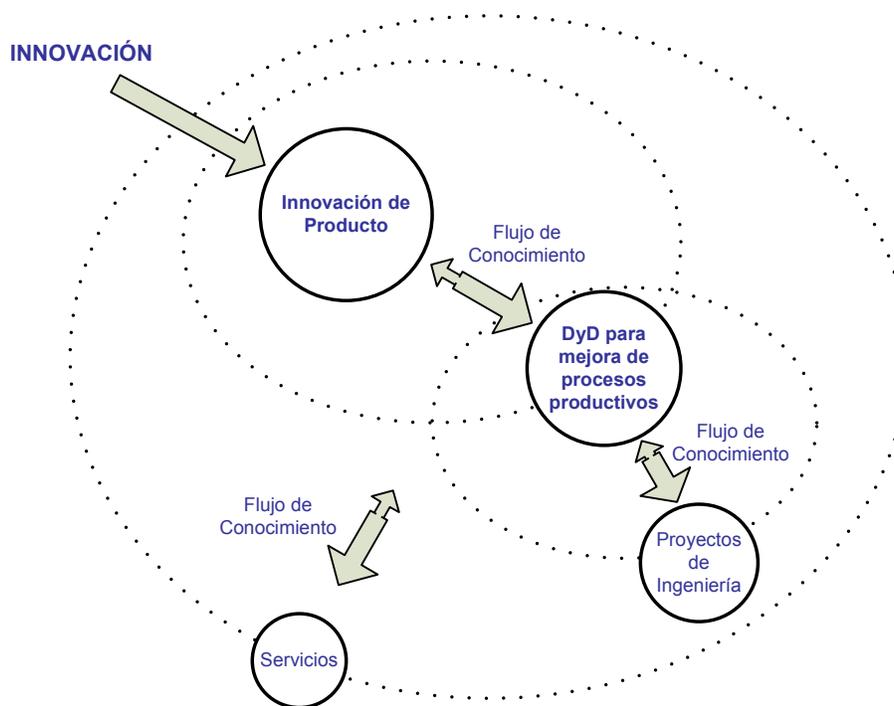


Figura 6. Actividades principales y flujos de conocimiento en el centro de I+D.

El flujo de conocimiento entre las diferentes actividades del Centro de I+D es un aspecto fundamental para el éxito de este tipo de organizaciones, ya que, de acuerdo a estudios recientes (Solleiro, et al., 2008) los Centros de Investigación y Desarrollo latinoamericanos requieren prácticas formales de gestión del conocimiento, debido a que generalmente

carecen de capacidad interna suficiente para reconocer sus actividades generadoras de valor; para diseñar y poner en práctica mecanismos efectivos que permitan evaluar objetivamente los beneficios económicos y sociales derivados; para trascender una evaluación tradicional y dar paso a indicadores de impacto socioeconómico acordes con el nuevo contexto de la investigación en la región.

Uno de los productores principales de riqueza y prosperidad en los países industrializados es la existencia de sistemas sostenibles, capaces de convertir activos de innovación tecnológica en mejoras sustanciales de los niveles de productividad, riqueza y competitividad global. Un aspecto relacionado con el éxito de dichos sistemas es el desarrollo de agrupamientos o “clusters”. Sin embargo, se ha capitalizado muy poco de estas experiencias en regiones menos desarrolladas (Scheel, 2002).

En el marco de los agrupamientos tecnológicos, cobra especial relevancia contar con un marco estratégico para mapear, medir y valorar el capital intelectual en dichos agrupamientos, con la finalidad de estar en condiciones de controlar sistemáticamente la evolución de dicho capital intelectual (Hervas y Dalmau, 2006).

La literatura es clara en que las organizaciones difieren según las capacidades organizacionales (Barney, 1991; Dierickx y Cool, 1989; Hansen y Wernerfelt, 1989), y que esas capacidades son usadas para “crear y explotar oportunidades externas y desarrollar ventajas sostenidas” (Lengnick-Hall y Wolff, 1999). Dicho concepto se relaciona con la innovación, la cual frecuentemente resulta de la interacción de varios sujetos, tecnologías, personas y organización, siendo el aprendizaje que se deriva de dichas interacciones lo que

constituye la actividad innovadora, dado que es a través de los procesos de creación de redes y la gestión de externalidades, que se desarrollan nuevos productos, procesos y servicios (Mitra, 2000). La interacción entre capacidades y competencias individuales y colectivas constituye una transacción de valor en ambientes colaborativos (Bititci, et al, 2004), siendo las competencias de interacción e innovación organizacional claves para la obtención, uso y creación de de conocimiento y aprendizaje al interior de la organización (Macpherson, et al, 2003).

Otro aspecto que debe considerarse como parte del modelo según el cual las organizaciones de I+D operan, es la estandarización de la transferencia interna de tecnología entre departamentos. Paradójicamente, la transferencia interna puede ser más difícil de establecer cuando ambas divisiones tienen un desempeño exitoso y son por lo tanto menos proclives a buscar un cambio. Frecuentemente, la tecnología de producción usada por una división podría tener un impacto significativo en el éxito de otra... si tan solo lo supieran. (Utterback y Abernathy, 1975)

Las redes de innovación que se enfocan a la producción de nuevos activos intangibles se benefician de un modelo de dinámica de sistemas, donde la entropía y el conocimiento espontáneo fluyen desde la base para generar un cambio radical (Pöyhönen y Smedlund, 2004). Las redes de innovación se basan en la definición de la arquitectura de sistemas que brinda mayor flexibilidad en la implementación de dichos procesos (Puschmann y Alt, 2004).

Para que las organizaciones puedan asimilar y aplicar conocimiento externo requieren una gran capacidad de absorción. Dicha capacidad determina el desempeño de la organización en la transferencia de conocimiento, incluyendo los canales de difusión de tecnología, los mecanismos de interacción y los recursos destinados a investigación y desarrollo, con la finalidad de combinar dicha información en nuevas introspecciones, relacionándolas con la actual base de conocimiento (Jantunen, 2005). Debe hacerse énfasis en que la cultura organizacional impacta en todos estos factores (Lin, et al, 2002).

El concepto de las capacidades dinámicas de la organización ha dado un nuevo enfoque en los procesos y rutinas a través de los cuales las organizaciones desarrollan y renuevan sus capacidades organizacionales (Teece y Pisano, 1994; Teece et al., 1997; Wheeler, 2002). Una implicación importante del concepto de las capacidades dinámicas es que las organizaciones no solo compiten en su habilidad para explotar sus recursos y capacidades organizacionales actuales, sino que compiten también en su habilidad para renovar y desarrollar sus capacidades organizacionales (Teece et al., 1997). Es importante considerar que las capacidades organizacionales dependen en gran medida de las interacciones al interior de la organización. Es así que, en una organización con un alto nivel de interacción interna, la capacidad organizacional puede ser mayor que la suma de las capacidades de cada uno de sus elementos (Holland, 2004), siendo éste un tema de estudio bajo el concepto de dinámica de sistemas organizacionales.

Teece et al. (1997) definen el concepto de capacidades dinámicas como la habilidad de una organización para integrar, construir y reconfigurar competencias internas y externas, para ajustarse a entornos con una tasa alta de cambio. Dados sus fundamentos metodológicos, el

análisis de las capacidades dinámicas de una organización tiene poco valor si no se relaciona con las actividades de gestión del conocimiento (Nielsen, 2006).

Las capacidades dinámicas permiten la creación de nuevos productos y permiten responder a los cambios en las condiciones externas, para lo cual debe enfatizarse en la capacidad que tiene la organización de aprender, por lo que las capacidades dinámicas son factores clave en la optimización del curso estratégico del futuro de la organización (Vivas, 2005).

La interacción entre miembros de la organización que “constituyen” una capacidad determinada implica principalmente el intercambio de flujos de conocimiento (Galunic y Rodan, 1998). En esta conexión, Nonaka (1994) ha propuesto un modelo según el cual el conocimiento es creado, transferido e integrado entre los individuos a través de un proceso de conversión del conocimiento tácito a explícito (y viceversa), un proceso que es gestionado en la organización. Adicional a los conceptos antes mencionados, debe considerarse la capacidad de la organización para cambiar, la cual depende completamente de las personas que componen a la organización (Karp, 2004).

La administración puede desarrollar y nutrir las capacidades organizacionales mediante un diseño cuidadoso -en la medida de lo posible- de aquellos parámetros sociales que son responsables de la cohesión del grupo en cuestión. En breve: la alineación de las capacidades genéricas y la planeación tecnológica-estratégica es un prerrequisito para un desempeño superior.

Las actividades de Diseño y Desarrollo en el Centro de I+D.

Para el caso específico de un centro de I+D, consideramos que las actividades de Diseño y Desarrollo (D&D) se realizan principalmente para mejorar algún proceso, en este sentido, D&D se concibe como una optimización avanzada. Si bien las actividades de Diseño y Desarrollo comparten ciertas características con las actividades de innovación, ambas actividades son esencialmente diferentes y no debe confundirse una con la otra. Esto supone requerimientos y restricciones que deben considerarse durante el proceso de D&D, las cuales están dadas en función del producto, proceso o sistema existente, mientras que la innovación sólo tiene las restricciones determinadas por la tecnología y el conocimiento científico.

En este contexto, las actividades de Diseño y Desarrollo no constituyen una innovación, en tanto que no se cree un nuevo producto o proceso completo que logre impactar al mercado. Si lo que el cliente del Centro de I+D desea es crear o desarrollar un producto o proceso nuevo, entonces el utilizar métodos y herramientas que fomenten la innovación puede apoyar a mejorar el desempeño de estas actividades.

Se encuentra una estrecha relación entre las actividades de D&D y la Ingeniería de Sistemas, considerando que el análisis de sistemas es la aplicación del método científico a problemas estratégicos importantes, que deben ser analizados desde la óptica de varias disciplinas simultáneamente. Rau (1970) señala que “la ingeniería de sistemas consiste en la aplicación del método científico para integrar las actividades relacionadas con la definición, diseño, planeación, desarrollo, implantación y evaluación de sistemas”.

Por lo que un Centro de I+D podría beneficiarse al considerar las actividades de D&D en el marco del método científico, considerando al diseño como una hipótesis, en la cual se desarrolla un modelo mediante el cual se busca balancear los costos del desarrollo con el logro de los objetivos deseados, respetando las restricciones existentes (Optner, 1978). Al plantearlo de esta manera, se concibe al diseño como la hipótesis de que el modelo desarrollado cumplirá las restricciones. El concebir a las actividades de Diseño y Desarrollo bajo esta óptica, puede reportar beneficios para el CPI en varios temas, inclusive en el de la comercialización, simplificando el logro de acuerdos respecto a las características que el prototipo resultante debe cumplir, y la distribución de los riesgos relacionados entre los interesados, además de promover un lenguaje común con las funciones de investigación aplicada que necesariamente alimentan a esta actividad.

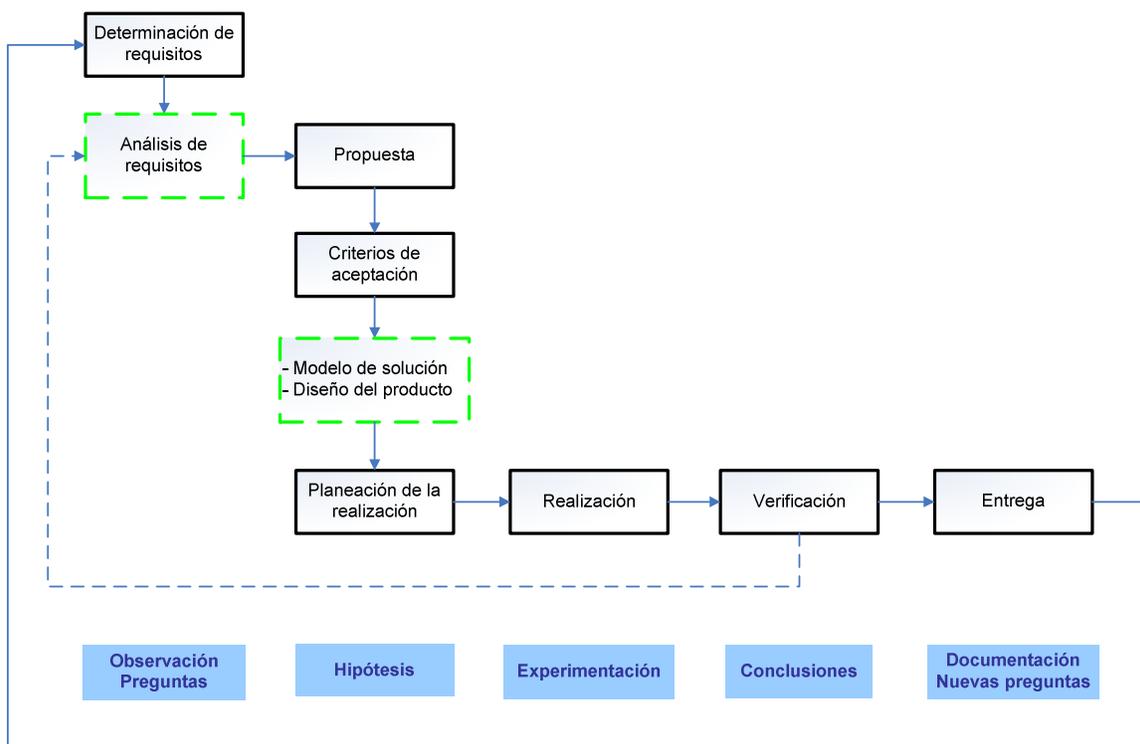


Figura 7. El método científico y las principales etapas de las actividades de Diseño y Desarrollo (Martínez-Berumen, et al., 2009)

En la figura 7 se muestra que un proyecto de D&D debe iniciar con una definición de requisitos. Si estos requisitos son vagos o no existen, pueden utilizarse técnicas avanzadas de gestión de requisitos, como las que se identifican en el *INCOSE Requirements Management Tools Survey* (<http://www.incose.org>). En las actividades de Diseño y Desarrollo, mientras más requisitos se tenga es mejor, mientras que, para las actividades de innovación, esto no necesariamente es verdad. En actividades de Diseño y Desarrollo, la creatividad es útil solamente en la etapa de “construcción de hipótesis”. Posteriormente y para lograr los objetivos contractuales, se requiere una fuerte disciplina en las actividades de administración del proyecto. Para un Centro de I+D, el considerar las actividades de Diseño y Desarrollo bajo el esquema de la Ingeniería de Sistemas puede reportarle ventajas competitivas significativas, ya que incluso los dos primeros pasos del proceso de Ingeniería de Sistemas: la identificación de los interesados clave en el proyecto, y el análisis y comparación explícitos de sus metas, trae a la luz elementos importantes que de otra manera podrían permanecer ocultos. Una vez identificados, estos aspectos pueden gestionarse adecuadamente mediante herramientas de la Ingeniería de Sistemas.

El riesgo en la innovación.

La innovación radical es un negocio riesgoso: los beneficios económicos pueden ser enormes, pero altamente inciertos, dado que las posibilidades de éxito son bajas y el costo de las fallas suele ser alto. Es preciso entonces, ajustar metodologías claras y concisas para conceptualizar y medir sistemáticamente los riesgos implícitos en los proyectos tecnológicos. A pesar de que hay una respetable cantidad de literatura relacionada con la percepción y administración del riesgo, aún no se ha desarrollado un modelo de riesgos que

reconozca aspectos tales como las relaciones entre los tomadores de decisiones, el desempeño de los procesos organizacionales en el marco de un plan tecnológico-estratégico y otros factores de la industria y el mercado que influyen las decisiones estratégicas relacionadas con la toma de riesgos. Una decisión relacionada con innovación se considerará como riesgosa bajo las siguientes circunstancias (Keizer y Halman, 2007):

- La certidumbre es baja: la probabilidad de encontrar una solución satisfactoria al tema sujeto de innovación es baja.
- El control es bajo: la habilidad del equipo para influenciar las acciones de una manera tal que se pueda encontrar una solución satisfactoria dentro de los límites de tiempo y recursos del proyecto.
- La importancia relativa es alta: el no lograr una solución satisfactoria puede poner en riesgo el desempeño esperado para el proyecto.

Keizer y Halman (2007) identifican dos tipos de riesgos: Los riesgos no ambiguos se refieren a la incertidumbre relacionada con el desempeño del producto de acuerdo a especificaciones, la disponibilidad de los proveedores y la aceptación de los productos por parte de los consumidores. El segundo tipo de riesgo, (riesgo ambiguo) incluye riesgos para los cuales existen fuertes diferencias de opinión respecto a la organización interna y a la administración de proyectos tecnológicos.

La incertidumbre puede definirse como la diferencia entre la información procesada y la información requerida para completar una tarea (Tushman y Nadler, 1978; Kaye, 1995), o la baja habilidad para predecir con precisión cuál será el resultado de una decisión (Duncan, 1972). El propósito de la información en los procesos de toma de decisiones es eliminar o

reducir la incertidumbre (Frishammar, 2003), otros términos para referirse a este efecto es reducción del riesgo, identificación de amenazas y oportunidades.

2.2 Sumario de las bases teóricas del proyecto

A continuación se presenta un sumario de los temas tratados en el apartado 2.1. Se presenta esta síntesis como una manera de identificar los principales temas que se abordan en el proyecto, a los cuales se hará referencia en el capítulo 3 de este documento.

Gestión de la complejidad organizacional.

- Una organización, específicamente un Centro Público de Investigación (CPI) puede conceptualizarse como un sistema complejo abierto a su entorno.
- Muchos sistemas de distintos campos no pueden entenderse con la aproximación reduccionista habitual. Los sistemas complejos son a menudo impredecibles, pero cumplen su función incluso bajo condiciones variables y aparecen no por un diseño previamente concebido, sino por un proceso de auto-organización, típicamente adaptativa. La Ciencia y la Ingeniería “tradicionales” carecen del marco conceptual para entender diseñar, o gestionar estos sistemas. El estudio de los sistemas complejos actúa como puente entre campos, no sólo entre la Ciencia y la Ingeniería, sino entre las Ciencias formales y naturales y las Ciencias sociales (Sánchez Sánchez, 2006).

Entropía.

- El concepto de entropía puede aplicarse a sistemas abiertos complejos, como el que se estudia en el presente trabajo.

- Es posible relacionar el concepto de entropía con los espacios probables del estado de un sistema, en donde el estado más probable está determinado por la homogeneidad y la no-diferenciación de un sistema con su entorno. Dicho estado también puede ser descrito como “desorganización”, considerando la falta de información necesaria para diferenciar al sistema.
- Los sistemas abiertos complejos pueden desarrollar estructuras disipativas, con la finalidad de lograr un estado de equilibrio dinámico y adaptarse a las demandas impuestas por su entorno. Dichas estructuras “ordenan” la estructura del sistema.
- Cuando los efectores que propicia la estabilidad dinámica del sistema se anulan, el sistema “sucumbe” al efecto de la entropía y su estructura comienza a degradarse, a homogeneizarse con su entorno.

Planeación y Gestión Estratégica y Tecnológica.

- Al planear y gestionar una organización, se requiere un enfoque integral, que considere todos los aspectos y factores internos y externos relacionados a la misma.
- Se requiere un enfoque de planeación y gestión que otorgue a las actividades de I+D el mismo nivel de importancia estratégica, en alineación con el resto de las funciones organizacionales.
- Para las organizaciones dedicadas a la Investigación y Desarrollo, es vital contar con un nivel superior de flexibilidad y agilidad en la operación.
- En las organizaciones de I+D es necesario asegurar que los procesos de comunicación y toma de decisiones son adecuados a las demandas del ambiente interno y externo.

- En un Centro Público de Investigación, es necesario balancear la oferta de productos tecnológicos (technology push) con un estudio cuidadoso de las necesidades y tendencias del mercado (market pull).
- La innovación es crucial para un CPI, por lo que es necesario fomentarla y mantener un seguimiento continuo respecto a su evolución en la organización.
- En el marco de las actividades que los centros tecnológicos requieren desarrollar, se encuentran las actividades de inteligencia tecnológica y los modelos de interacción temática, integrando estos elementos en un modelo de innovación según el plan general estratégico-tecnológico utilizado como marco de referencia. Con este marco de referencia y utilizando métodos multicriterio, es posible diseñar el modelo de toma de decisiones, optimizando los diferentes criterios que caracterizan al Centro de I+D.

Gestión del Conocimiento y desarrollo de proyectos en Centros de I+D.

- Un Centro de I+D se desempeña principalmente en las siguientes actividades: creación de nuevos productos y generación de tecnologías propias, diseño y desarrollo para mejora de procesos, realizando proyectos de ingeniería especializada y ofreciendo servicios o asistencias técnicas en los campos de conocimiento de su competencia, incluyendo servicios de capacitación.
- Las capacidades del CPI dependen fundamentalmente de su recurso humano, y de las interacciones al interior de la organización.
- Dada la complejidad de la operación de los Centros Públicos de Investigación, la Ingeniería de Sistemas puede ser útil para analizar y ordenar las actividades de este tipo de organizaciones.

- Se concibe al método científicos como la base de las actividades del CPI.

Considerando el marco teórico descrito, sobre el cual se sustenta el proyecto de investigación, se desarrolló la metodología que se presenta en el capítulo 3 de este documento, a partir de la cual se derivó la propuesta metodológica descrita en el capítulo 4. De acuerdo al análisis de la literatura realizado, se considera que la metodología propuesta puede contribuir a incrementar la base de conocimiento de la Ingeniería de Sistemas, específicamente respecto a la aplicación de esta disciplina en Centros de I+D.

2.3 Marco histórico y contextual

El diseño institucional de la Ciencia y la Tecnología en México.

De acuerdo con la Organización para la cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), las economías basadas en el conocimiento se caracterizan por tres elementos principales (OECD, 1996):

- La distribución del conocimiento, a través de las redes formales e informales de intercambio de información.
- El empleo, basado en un uso intensivo del conocimiento y el máximo aprovechamiento de los elementos tecnológicos.
- El sistema de ciencia, conformado por las instituciones relacionadas con la producción, transmisión y transferencia del conocimiento.

El tránsito de México para constituirse en una sociedad basada en el conocimiento ha sido largo, y se ha caracterizado por un cambio y reajuste constantes. Actualmente, y como se mostrará más adelante, aún enfrenta retos importantes. A continuación se resume brevemente la historia de la institucionalización de la ciencia y la tecnología en el país:

- 1930: se crea la Academia Nacional de Ciencias, como un primer ensayo para congrega a los científicos del país.
- 1935: Durante el sexenio del presidente Lázaro Cárdenas, se crea el Consejo de Educación Superior y de la Investigación Científica como órgano de consulta del gobierno en educación e investigación.
- 1942: se crea la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación (CICIC), cuyos objetivos estaban limitados a impulsar la investigación de las ciencias exactas (matemática y física) y ciencias naturales (biología y química).
- 1950: El CICIC es reemplazado por el Instituto Nacional de Investigación Científica (INIC), dedicado esencialmente a brindar apoyos en forma de becas de estudios avanzados. La investigación permanecía desvinculada al sector productivo.
- 1970: se crea el CONACYT, el cual reemplaza al INIC, y que inicialmente dependería directamente de la presidencia de la República, como un organismo encargado de colaborar con el gobierno federal en la elaboración, aplicación, ejecución y evaluación de la política nacional en materia de ciencia y tecnología.
- 1979: el CONACYT pasa a formar parte de la Secretaría de Programación y Presupuesto.

- 1984: se estableció el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), con el objeto de frenar el fenómeno de fuga de cerebros por falta de apoyos a la investigación.
- 1992: se reubica al CONACYT en la Secretaría de Educación Pública. La SEP asigna al CONACYT la coordinación del subsector ciencia y tecnología, naciendo así el Sistema SEP-CONACYT, integrado por 29 centros de investigación en las áreas científica, tecnológica y social.
- 1999: expedición de la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica (LFICyT).
- 2002: se expide una nueva Ley de Ciencia y Tecnología (que abrogó la Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica) y la nueva Ley Orgánica del CONACYT. El CONACYT se integra de nueva cuenta a la presidencia de la República. El convenio de desempeño que había sido establecido entre la SEP, la SHCP, la SECODAM y el CONACYT (CONACYT, 1998) es sustituido por el Convenio de Administración por Resultados.

Actualmente, y de acuerdo a la Ley de Ciencia y Tecnología, el Consejo General de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación constituye la cabeza del sistema nacional de ciencia y tecnología. Lo encabeza el Presidente de la República y funge como secretario ejecutivo el director del CONACYT. También son miembros permanentes los titulares de las secretarías de Relaciones Exteriores, de Hacienda y Crédito Público, de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de Energía, de Economía, de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, de Comunicaciones y Transportes, de Educación Pública y de Salud. Participan también el Coordinador del Foro Consultivo; el presidente de la Academia Mexicana de Ciencias; un representante

de la Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología; tres representantes del sector productivo; un representante de los Centros Públicos de Investigación; el secretario de ANUIES; y dos representantes de la comunidad científica o tecnológica. Asimismo, el ejecutivo federal puede invitar a personalidades relacionadas con el tema. A pesar de que la Ley Federal de Ciencia y Tecnología prevé que el Consejo General sesione dos veces por año, durante el sexenio 2006-2012 se ha reunido solamente una vez, y en el sexenio anterior sesionó solamente en dos ocasiones, lo que da muestra de la prioridad que se le ha dado al tema y sus instituciones.

Cabrero, Valadés y López-Ayllón (2006), señalan que el sistema de ciencia y tecnología funciona de manera desarticulada y sin una capacidad de dirección definida. Sostienen que es necesario pasar de la centralización a un diseño en red que permita establecer los marcos de referencia, la regulación estratégica y los incentivos respecto de las acciones de los diferentes agentes participantes. Asimismo, en un país de escasos recursos como México, una política de ciencia y tecnología requiere de un proceso de planeación y evaluación muy eficaz, con el objetivo de obtener resultados estratégicos. Los autores establecen que para realizar estos ajustes, es necesario modificar el diseño institucional de la política de ciencia y tecnología, siendo una de las alternativas, el convertir al CONACYT en una secretaría del gobierno federal. Esta puede ser una de las mejores alternativas, si se toma en cuenta que, de acuerdo al Informe de Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2010, realizado por la Auditoría Superior de la Federación, las obligaciones del titular del CONACYT, como secretario ejecutivo del Consejo General, se vieron afectadas por la falta de acuerdo entre los integrantes para sesionar y para reunirse conforme lo establece la ley, lo cual se debe en gran medida a

las diferencias jerárquicas que existen entre el titular de CONACYT como un órgano desconcentrado, y los titulares de las Secretarías de Estado, y las implicaciones que esto tiene para ajustar las agendas y fomentar el consenso respecto a la política científica y tecnológica, lo cual cobra mayor relevancia si se considera que también es necesario integrar a las entidades federativas y a los municipios en un esquema integral que opere con un nivel de coherencia adecuado para enfrentar los complejos retos que el país tiene en este rubro, "terminando así con la ficción de que un organismo descentralizado coordine a dependencias de la administración pública centralizada" (Cabrero, Valadés y López-Ayllón (2006).

Como ya se ha mencionado, la Ley de Ciencia y Tecnología establece que el Gasto Federal en Ciencia y Tecnología (GFCyT) debe ser equivalente al 1% del Producto Interno Bruto (PIB). La figura 8 muestra los valores del GFCyT como porcentaje del PIB, durante los años 2003-2010.

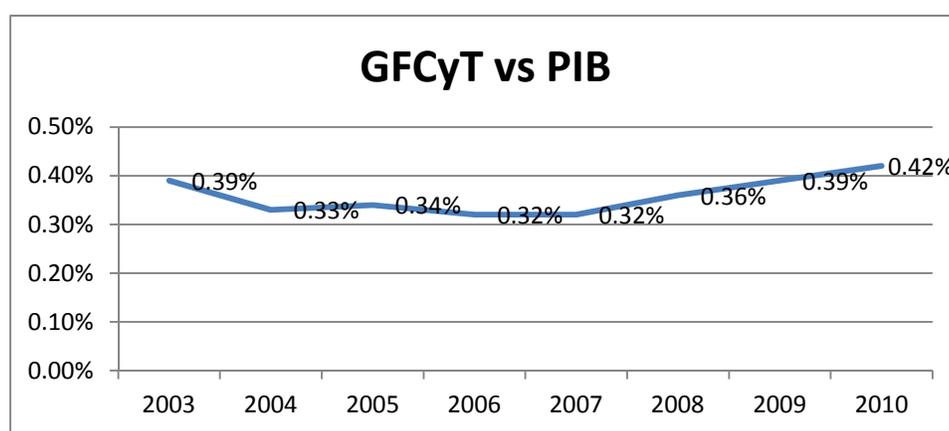


Figura 8. El Gasto Federal en Ciencia y Tecnología vs. el PIB
(Elaboración propia con datos de la SHCP, Cuenta de la Hacienda Pública Federal, 2003-2010. INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México, CONACYT, 2011a)

Como puede apreciarse en la figura 8, a partir del 2008 se ha presentado una tendencia a la alza del indicador. Sin embargo, debe notarse que, en caso de que se mantuviera la tendencia mostrada entre los años 2007-2010, la meta del 1% del PIB se lograría en aproximadamente 20 años. Huelga decir las implicaciones que ello tendría para atender los rezagos de México en la materia.

En su mayoría, las actividades de investigación y desarrollo experimental (IDE) en México se llevan a cabo por los Centros Públicos de Investigación CONACYT, por los organismos de investigación que dependen de las Secretarías de Estado y por las instituciones de educación superior.

De acuerdo al artículo 47 de la Ley de Ciencia y Tecnología, las entidades paraestatales de la Administración Pública Federal, para ser reconocidos como Centros Públicos de Investigación, deben cubrir los requisitos de acreditar que su objeto predominante es la realización de actividades de investigación científica y tecnológica; que efectivamente se dedican a dichas actividades; que el reconocimiento como Centro Público sea por resolución conjunta de los titulares de CONACYT y de la dependencia Coordinadora de Sector al que corresponda la entidad paraestatal; que exista una opinión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para efectos presupuestales, y que se celebre el convenio de administración por resultados, para evaluar su desempeño y el impacto de sus acciones, tomando en cuenta la opinión del Foro Consultivo Científico y Tecnológico y que dicha resolución se publique en el Diario Oficial de la Federación.

La figura 9 muestra a los principales organismos públicos que realizan actividades de IDE, agrupados por sector administrativo. En la figura se muestra el porcentaje del GFCyT que fue asignado a cada sector administrativo durante el 2010.

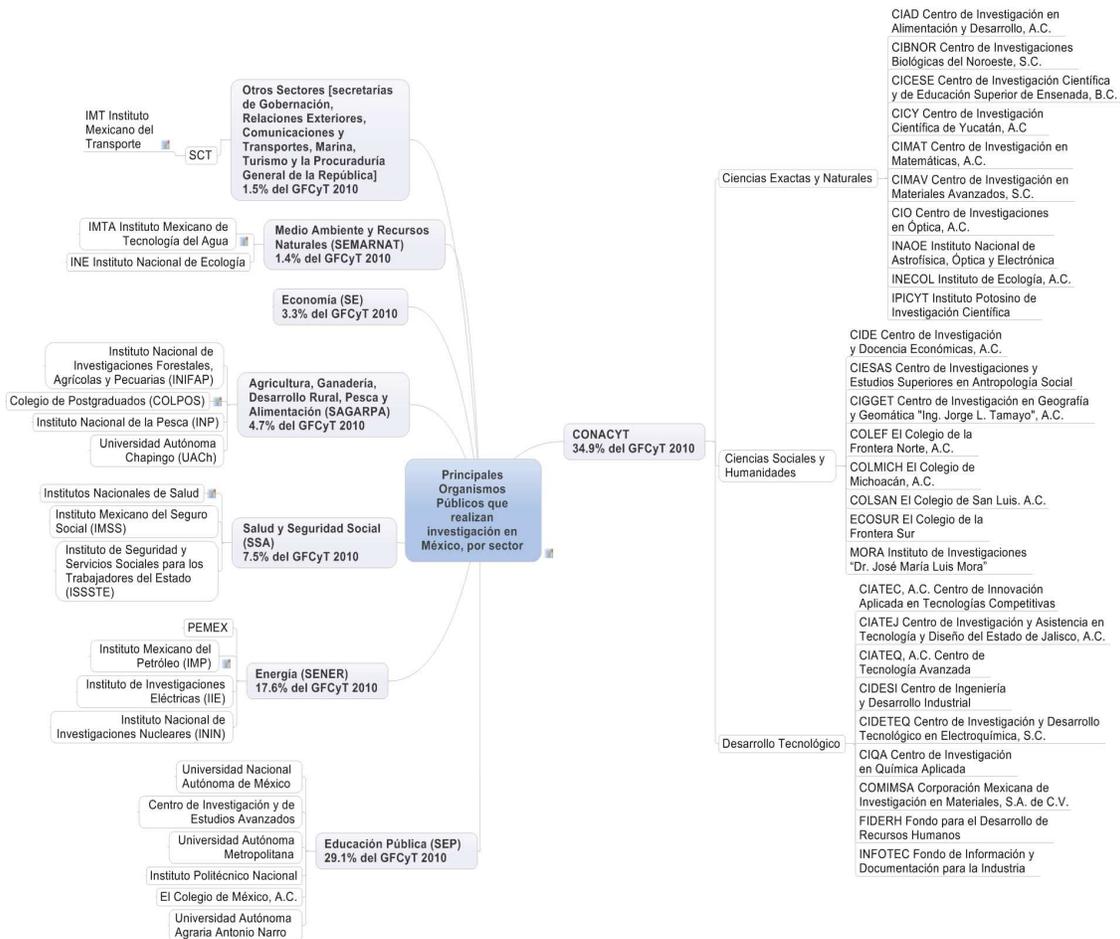


Figura 9. Principales organismos públicos que realizan actividades de IDE (Elaboración propia con datos de Presidencia de la República y CONACYT, 2011a)

Con respecto a la participación de los CPIs-CONACYT en el GFCyT, y como se muestra en la figura 10, mientras que el GFCyT y los recursos asignados al CONACYT han aumentado en los últimos años, los recursos asignados a los CPIs-CONACYT se han mantenido en los mismos niveles desde hace siete años, e incluso han disminuido.

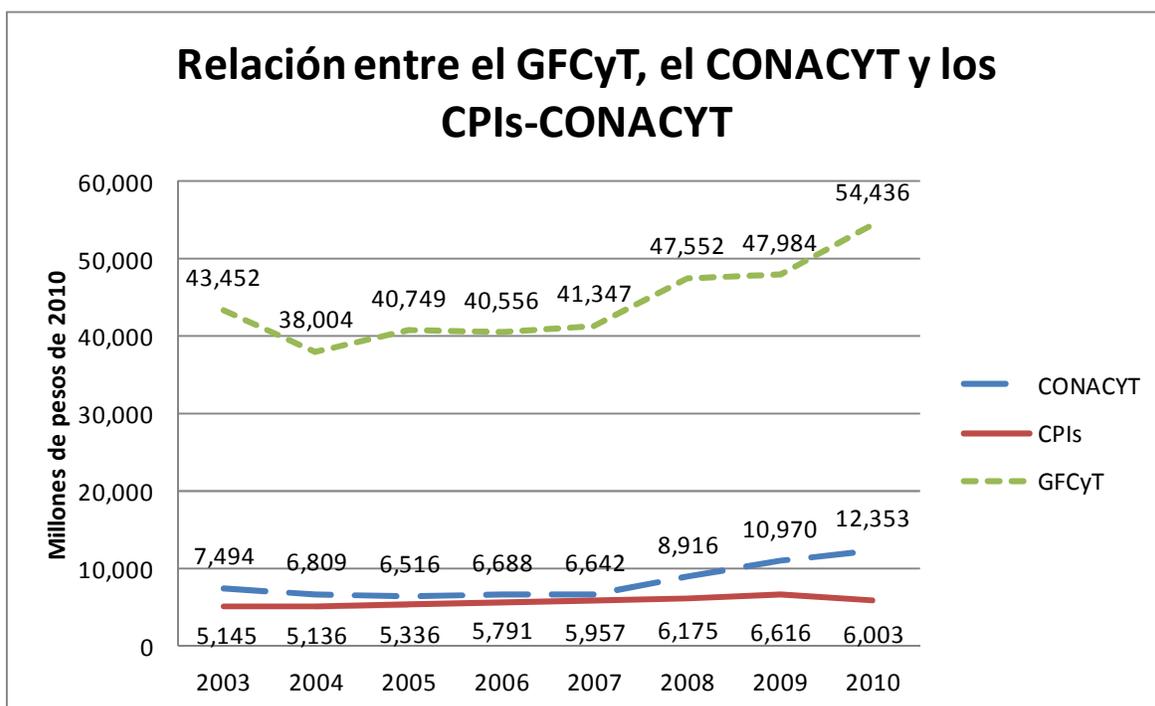
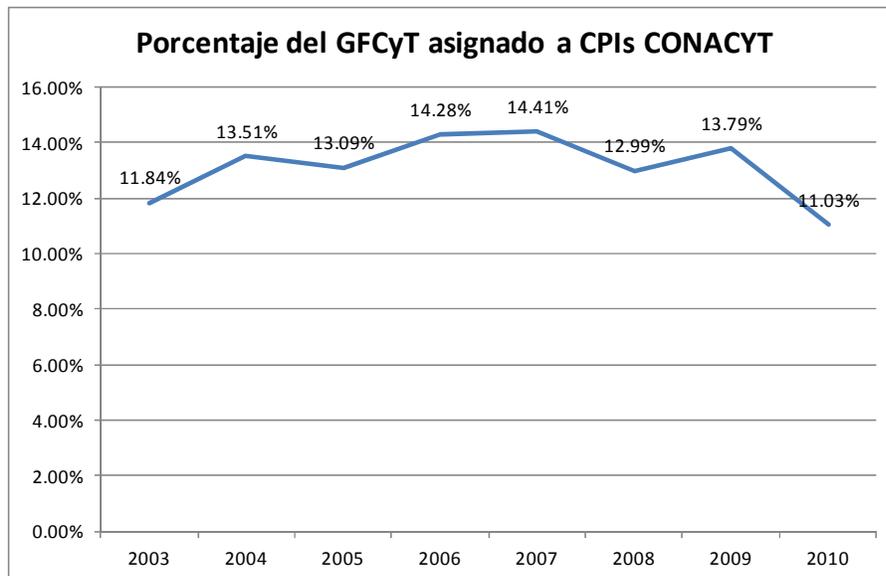


Figura 10. Relación entre el GFCyT y los recursos asignados al CONACYT y sus CPIs (Elaboración propia con datos de CONACYT, 2011a)

La figura 11 muestra la proporción del GFCyT que son asignados a los CPIs CONACYT.



**Figura 11. Relación entre el GFCyT y los recursos asignados al CONACYT y sus CPIs
(Elaboración propia con datos de CONACYT, 2011a)**

Siendo la principal justificación para dicha disminución, la encomienda que los CPIs tienen de generar recursos propios a través de la vinculación con la industria y los sectores a los cuales sirven. Sin embargo, es necesario tomar en consideración lo expuesto anteriormente, respecto al nivel de riesgo implícito en las actividades encomendadas a los CPIs. Dichos riesgos provienen del hecho de que, como lo señalan Cabrero, Valadés y López-Ayllón (2006), existen ciertas particularidades económicas, mejor conocidas como "fallas del mercado" que hacen necesaria la intervención del gobierno en esta materia: 1.- El conocimiento es un bien "no apropiable" completamente por quien hace la inversión y 2.- Los resultados de la inversión en ciencia y tecnología suelen ser inciertos, y sus beneficios, tienden a manifestarse después de un largo periodo de tiempo.

Por lo que, sin una correcta intervención por parte del Estado, se corre el riesgo de que los CPIs-CONACYT desvirtúen su quehacer, el cual tiene en su médula la generación y transferencia de conocimiento a partir de la realización de actividades científicas y de investigación aplicada. Al ingresar a la dinámica del mercado, se privilegiaría la consecución de recursos económicos, en detrimento de su labor fundamental. Entonces, la labor del gobierno es imprescindible para corregir dichas “fallas del mercado”, incentivando y propiciando la correcta vinculación entre los actores.

Una medición indirecta de las actividades de investigación que una institución realiza, puede obtenerse considerando la participación que dicha organización tenga en el SNI a través de su personal. La figura 12 muestra la puntuación obtenida por las instituciones que cuentan con personal dentro del SNI. Esta puntuación se obtuvo asignando $\frac{1}{2}$ punto por cada candidato a investigador, 1 punto por cada investigador nivel I, 2 puntos por cada investigador nivel II y 3 puntos por cada investigador nivel III. Lo anterior, tomando en cuenta que la contribución, experiencia y capacidades de un investigador se definen por su nivel en el SNI. Asimismo, el número de miembros con pertenencia al SNI puede ser un indicador indirecto acerca de la vocación de una institución hacia la investigación: al ser una referencia acerca de las políticas internas de dicha institución en varios ámbitos, incluyendo el desarrollo de recursos humanos, los recursos que designa para el desarrollo de proyectos de investigación y el fomento a sus líneas de investigación.

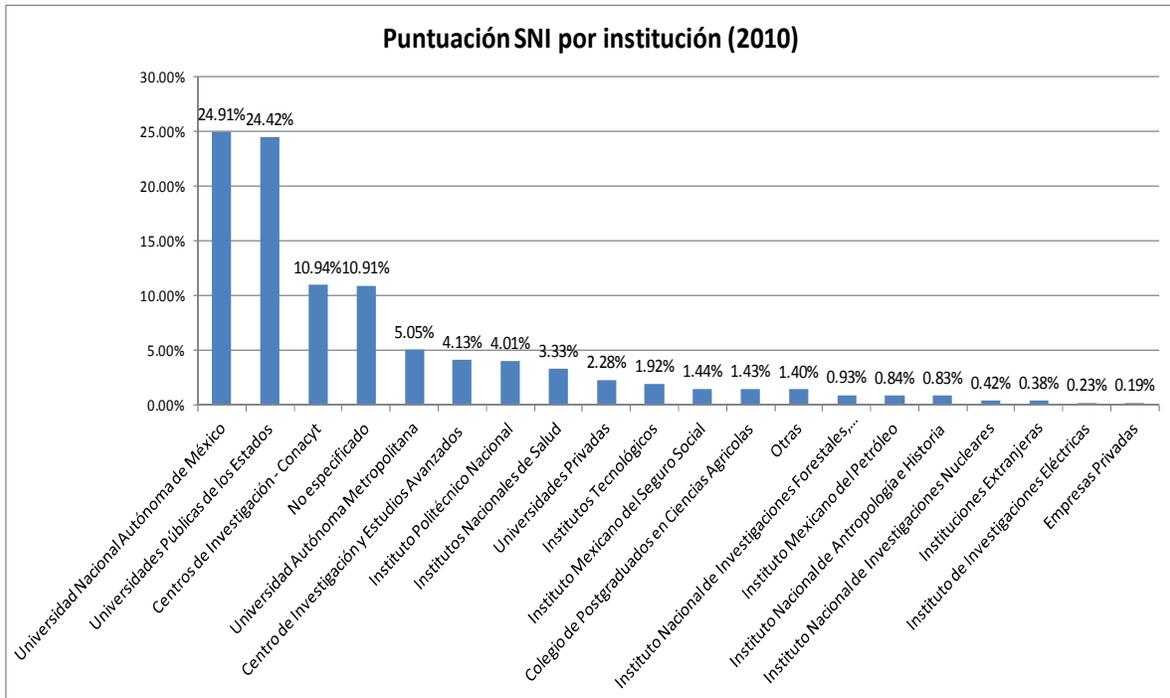


Figura 12. Puntuación SNI por institución 2010
(Elaboración propia con datos del SIICYT)

En la figura 12, resalta la UNAM en el primer lugar, seguida por las Universidades Públicas de los Estados y por los CPIs CONACYT en tercer lugar. También destaca que las empresas privadas aparecen en último lugar, el cual constituye un reto importante: fomentar la realización de actividades de investigación en las organizaciones privadas.

La figura 13 muestra la puntuación SNI para los CPIs CONACYT. En este caso, también se asignó ½ punto por cada candidato a investigador, 1 punto por cada investigador nivel I, 2 puntos por cada investigador nivel II y 3 puntos por cada investigador nivel III.

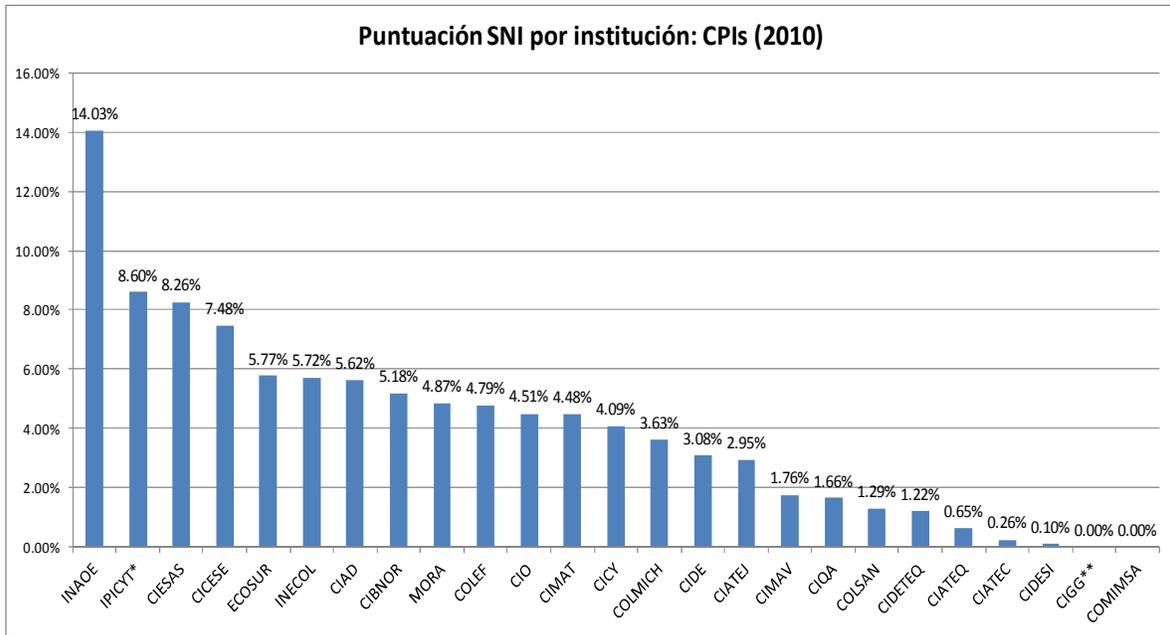


Figura 13. Puntuación SNI por institución: CPIs 2010
(Elaboración propia con datos del SIICYT)

* En la fuente consultada no se muestran datos del FIDERH e INFOTEC

La figura 13 presenta un tema de reflexión, al observarse que los CPIs CONACYT enfocados al área de desarrollo tecnológico (a excepción tal vez del CIATEJ), se agrupan en los últimos lugares de la escala. Se percibe entonces la necesidad de asegurar que estos CPIs ingresen a una dinámica que les permita reenfocarse en su misión fundamental, optimizando los limitados recursos con que cuentan. Como ya se ha mencionado, la propuesta metodológica presentada en este trabajo, tiene ese objetivo.

En la siguiente sección se describe a mayor detalle a los CPIs CONACYT.

Descripción de los Centros Públicos de Investigación del CONACYT.

“En el marco del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, los Centros Públicos de Investigación CONACYT, por sus antecedentes, trayectoria y experiencia constituyen en México un factor determinante por los activos intelectuales y de infraestructura con que cuentan para generar conocimiento, administrarlo y gestionarlo. Los Centros han conservado y acrecentado sus capacidades e infraestructura científica y tecnológica, representando un acervo de sabiduría e intelecto relevante que constituye una importante herramienta del Estado Mexicano, indispensable para apoyar el desarrollo social y la competitividad de nuestro país y ofrecer una expectativa clara de futuro. Esta plataforma científica y tecnológica requiere fortalecerse y actualizarse sistemáticamente para mantener en la vanguardia internacional la capacidad de generar y gestionar el conocimiento de nuestro país. El Sistema de Centros CONACYT contribuye con el desarrollo y mejoramiento de las condiciones sociales y económicas del país mediante la realización de investigación básica y aplicada bajo criterios de alta calidad y excelencia contribuyendo al incremento de la competitividad del sector productivo y social.” (CONACYT, 2006)

El Sistema de Centros Públicos de Investigación (CPI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) es un conjunto de 27 instituciones científicas y tecnológicas públicas mexicanas dedicadas a la investigación y la docencia de nivel superior en variadas disciplinas del conocimiento, agrupadas en tres áreas principales: 1. Ciencias Exactas y Naturales, 2. Ciencias Sociales y Humanidades y 3. Desarrollo Tecnológico y Servicios. Como se ha mencionado, este Sistema fue creado en 1992 como resultado de

la reformulación de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal que asignó a la Secretaría de Educación Pública (SEP) y al CONACYT la responsabilidad del desarrollo científico y tecnológico del país. En 2002, al separarse este Consejo de la SEP, el Sistema adquirió la nomenclatura que lleva en la actualidad.

Los CPIs desarrollan las siguientes funciones:

- Investigación científica básica y aplicada, innovación científica y desarrollo tecnológico.
- Producción científica de alto nivel vinculada a las necesidades regionales con especial incidencia en las estrategias de desarrollo sustentable del país.
- Formación de académicos, científicos, tecnólogos y en general profesionales de alto nivel de pre y posgrado.
- Vinculación entre los sectores público y productivo, con particular interés en las pequeñas y medianas empresas.
- Innovación en la generación, desarrollo y aplicación del conocimiento científico, humanístico y tecnológico altamente competitivo en el contexto nacional e internacional.
- Asistencia en innovación y desarrollo tecnológico al sector productivo para potenciar la competitividad de México en el mundo.

- Extensión académica orientada a empresas, gobiernos y organizaciones de la sociedad.

La Ley de Ciencia y Tecnología (México, 2002) establece que los Centros Públicos de Investigación regirán sus relaciones con las dependencias de la Administración Pública Federal y con el CONACyT, conforme a los Convenios de Administración por Resultados (CAR) que en los términos de dicha ley se celebren. Dichos convenios contendrán, entre otras bases, las siguientes:

- I. El programa de mediano plazo, que incluya proyecciones multianuales financieras y de inversión;
- II. El programa anual de trabajo que señale objetivos, estrategias, líneas de acción y metas comprometidas con base en indicadores de desempeño;
- III. Los criterios e indicadores de desempeño y evaluación de resultados de actividades y proyectos que apruebe su órgano de gobierno, y
- IV. Las demás que se establezcan conforme a las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.

Entonces, el Convenio de Administración de Resultados (CAR) es la referencia a partir de la cual emanan las directrices que determinan el quehacer y el desarrollo del CPI, así como la evaluación de su desempeño.

Problemática de los Centros Públicos de Investigación del CONACYT.

La principal problemática de los CPIs con respecto al desarrollo y mejora de su competitividad es que en México "no hay una política de Estado en relación con la ciencia y desde luego esto hace que México no sea un país competitivo y tenga incapacidad de enfrentarse a los retos de la sociedad del conocimiento" (Drucker Colín, 2008). Esta carencia "se resume en pérdida de dinamismo, rumbo y continuidad de las políticas públicas en la materia" (Paredes y Loyola, 2006).

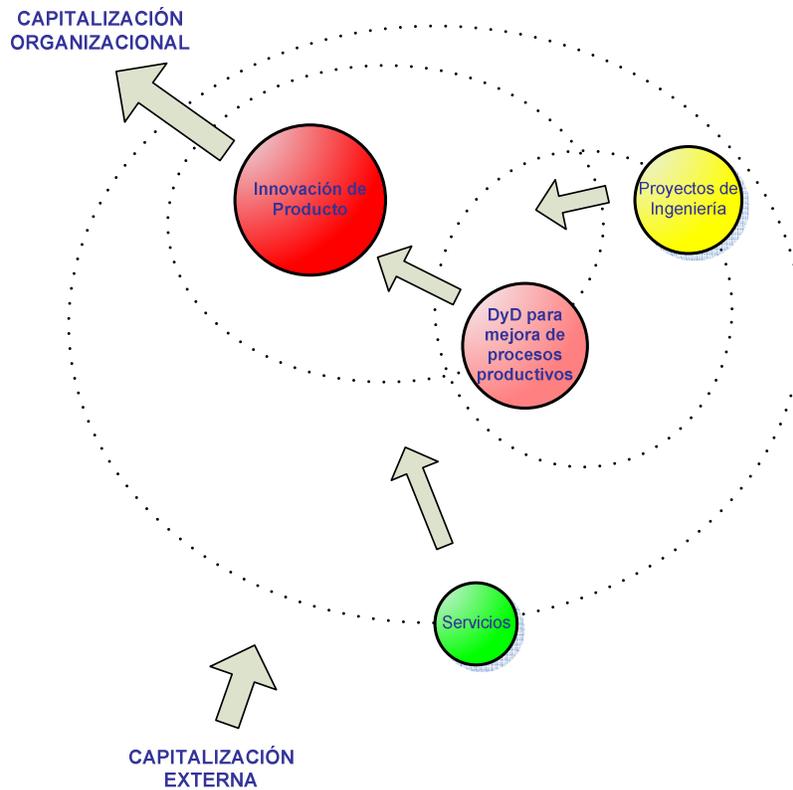
Varios autores han reflexionado acerca de la problemática que enfrentan los CPIs. Entre los principales aspectos se encuentran:

- Incertidumbre en el financiamiento que reciben (CONACYT, 2005; Zubieta y Jiménez, 2003);
- Rigidez burocrática y normativa (Paredes y Loyola, 2006; León, 1998);
- Insuficiente e inconstante generación de recursos propios (CONACYT, varios años);
- Mayor oferta de servicios que de productos de I+D (Cimoli, 2000; Zubieta y Jiménez, 2003; León, 1998);
- Conocimiento subutilizado o no utilizado (Casas, 2001); e
- Insuficiente colaboración e interacción con las industrias (Merrit, 2007).

Además de los factores anteriores, se consideran relevantes los siguientes:

- Aunque descrita en la Ley de Ciencia y Tecnología, el CPI cuenta con una limitada autonomía en la práctica, considerando su relación con diversas Secretarías de Estado, principalmente con la SHCP.
- Limitada capacidad para evaluar su propia competitividad y prevenir su obsolescencia tecnológica.
- Dificultad para vincularse y obtener rentabilidad al colocar adecuadamente sus productos y servicios, en tres sentidos complementarios:
 - 1º: Conocer sus propios productos y servicios, en cuanto a la contribución tecnológica de cada uno de ellos, ya sea que se trate de desarrollos tecnológicos, proyectos de ingeniería o servicios de anaquel.
 - 2º: Vincularse con los actores adecuados, que sean sensibles a las características, procesos y riesgos inherentes a los productos y servicios del CPI, y
 - 3º: Comercializar dichos productos adecuadamente, de acuerdo a sus características y al proceso necesario para desarrollarlos, considerando los riesgos incurridos y los aspectos relacionados a la propiedad intelectual.

De acuerdo a lo anterior, una de las principales dificultades que encaran los Centros de I+D es el alto nivel de riesgo que involucran sus actividades. La Figura 14 muestra esquemáticamente el nivel de riesgo relacionado a las actividades principales del Centro de I+D:



**Figura 14. Riesgo y flujos de capital en centros tecnológicos de I+D.
(Martínez-Berumen y Escobar-Toledo, 2011)**

Como se observa en la figura 14, el desarrollo de nuevos productos es la actividad con mayor riesgo, considerando que “si no se cometen errores es porque no se está innovando” (Fernández Zayas, 2002), y la prestación de servicios tecnológicos, la que representa menor riesgo. Para un CPI, dichos riesgos pueden materializarse en pérdida de recursos, pérdida de imagen, problemas financieros, incumplimientos con los promotores (CONACYT), entre otros. Por ende, los recursos propios generados por la venta de proyectos de ingeniería especializada y de prestación de servicios, deben sostener a las actividades internas de innovación de productos y de diseño y desarrollo. Sin embargo, estas entradas no son suficientes. Para subsistir, un Centro Público de I+D

de Desarrollo Tecnológico requiere capitalización externa, ya que “el quehacer de la Ciencia y Tecnología ocurre en instituciones financiadas con recursos públicos, y su finalidad es explorar las fronteras del conocimiento o explicar la realidad” (Fernández Zayas, 2007). En el caso de los CPIs mexicanos, dicha capitalización proviene del gobierno, mediante recursos fiscales. Dicha capitalización debe ser mayor si el centro de I+D no cuenta con el soporte financiero que le da la venta de proyectos de Ingeniería y servicios técnicos. Sin embargo, se espera que los resultados entregados por el Centro de I+D, en cuanto a generación, transferencia y difusión del conocimiento, sean mayores a la suma de las capitalizaciones internas y externas.

A continuación se describe al Centro Público de Investigación CIATEQ, y la forma como se ha organizado para afrontar la problemática descrita.

Descripción del Centro Público de Investigación CIATEQ.

A continuación se describen los orígenes del CIATEQ:

Como se ha mencionado, durante la década de los 70s, comenzó a desarrollarse la infraestructura científica del país, con instituciones especializadas que eran ya una exigencia en el proceso de industrialización y modernización. En diversos puntos de México, y con base en el desarrollo industrial de cada región, surgieron los Centros Regionales de Investigación y Asistencia Técnica (CRIAT). Su origen obedeció a la necesidad de tratar de adaptar experiencias extranjeras exitosas en regiones del país con orientación industrial.

En el caso de Querétaro, a mediados de los años setenta, el desarrollo industrial se basaba en forma preponderante en la rama metalmecánica, representada por dos grandes grupos industriales: Grupo ICA y Grupo Desc. Motivados por las necesidades de la gran industria en Querétaro y la reciente creación de los CRIAT, Grupo ICA y Grupo Desc establecieron contacto con el Conacyt y los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (LANFI) para solicitar su apoyo con miras a crear un centro de apoyo técnico.

Como resultado de estas gestiones, se integró una comisión para evaluar las necesidades de la industria metalmecánica regional. Para 1978, durante la presidencia de José López Portillo, se consideró que la creación de CIATEQ y otros centros en el país era ya pertinente, de manera que se procedió a estructurar los lineamientos definitivos mediante los cuales se constituiría el Centro.

La labor de integrar al gobierno y la iniciativa privada se dio en la forma adecuada, de modo que se creó CIATEQ con la participación del Conacyt, los LANFI, el Gobierno del Estado de Querétaro y nueve empresas de la industria metalmecánica de la región: Industria del Hierro, Reconstructora Mexicana de Maquinaria Industrial (Remex), Compacto, Transmisiones y Equipos Mecánicos (Tremec), Electroforjados Nacionales, Autoforjas, Cardanes, Transejes y Compañía Mexicana de Radiología.

En el acta constitutiva firmada ese día se establecieron los objetivos de CIATEQ, vigentes hasta la fecha: proporcionar asesoría técnica para el establecimiento de nuevas empresas; realizar promoción industrial y actividades de capacitación técnica de personal; proporcionar servicios de asistencia técnica en cuanto al control integral de la

calidad de materiales y productos manufacturados; brindar asesoría en aspectos técnicos de diseño, métodos de manufactura, maquinaria y procesos, organización y control de la producción, y realizar trabajos de investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico.

También en el acta constitutiva quedaron asentadas las principales actividades del Centro: contribuir al desarrollo socioeconómico de Querétaro, impulsando las industrias de la rama metalmecánica y conexas, a través de actividades de investigación, asistencia técnica y apoyo a la capacitación de recursos humanos; realizar investigación aplicada, innovación y desarrollo tecnológico en las diversas ramas del sector metalmecánico; brindar asesoría sobre aspectos técnicos en diseño, métodos de manufactura, maquinaria y procesos, control de producción y control de calidad sobre productos manufacturados, y en términos generales, ofrecer asesoría para la operación de una planta industrial. (CIATEQ, A.C., 2008)

Actualmente, CIATEQ ofrece soluciones tecnológicas integrales a las industrias aeronáutica, automotriz, alimentaria, de la manufactura, del plástico, del transporte, de la construcción, de las telecomunicaciones, del agua potable, del petróleo, así como del sector eléctrico y de energía nuclear, mediante la integración de especialidades tecnológicas en ingenierías de diseño, sistemas mecánicos, electrónica y control, ingeniería de plantas, ingeniería de plásticos, materiales avanzados, sistemas de medición, telecomunicaciones, tecnologías de información, desarrollo de software y manufactura avanzada.

Para un Centro de I+D como el CIATEQ, la productividad de la Investigación y Desarrollo no está determinada solamente por la rentabilidad. Otros resultados pueden ser en función de conocimiento creado, difusión de dicho conocimiento o apoyo para el incremento de competitividad de las empresas, y tienen que ver con el concepto de atributos o criterios que son igualmente importantes para el análisis del desempeño del centro de I+D, ya que provocan sinergia de competitividad a través de la empresa. Este tipo de resultados se consideran en el Convenio de Administración de Resultados (CAR) mencionado anteriormente, es la referencia a partir de la cual emanan las directrices que determinan el quehacer y el desarrollo del CPI, así como la evaluación de su desempeño.

Se ha mencionado que el Convenio de Administración por Resultados (CAR) determina los objetivos para el CPI y su forma de evaluarlos. La tabla 2 presenta los indicadores del CAR para el CPI CIATEQ:

Tabla 2: Indicadores del Convenio de Administración por Resultados (CAR) de CIATEQ

Nombre del indicador	Descripción
Transferencia de conocimiento	Número de patentes licenciadas y/o modelos de utilidad, derechos de autor transferidos (Acumuladas en cinco años)
	Total de investigaciones realizadas por el Centro (Total de proyectos de vinculación)
Índice de sostenibilidad económica	Monto de recursos propios (MDP)
	Monto de recursos propios más recursos fiscales.(MDP)
Publicaciones arbitradas	No. Publicaciones arbitradas
	Total de publicaciones
Crecimiento de clientes	Clientes en el año n
	Clientes en el año n-1

Excelencia en la formación de capital humano de alto nivel	Posgrados en PNP
	Programas de la institución (Doctorados, maestrías y especialidades)
Transferencia social de conocimiento	Proyectos de vinculación
	Total de proyectos
Producción Científica y Tecnológica	Total de publicaciones
	Total de investigadores
Becas	Becas ejercidas (\$) (Miles)
	Total ejercido presupuesto (Miles)

Al respecto de los indicadores mostrados en la tabla 2, es importante notar:

1. La diversidad en las funciones, objetivos y actividades del CPI CIATEQ, al cual se le encomiendan actividades de investigación, de vinculación y académicas.
2. Que los temas objeto de la evaluación se refieren exclusivamente a cantidades. Se omite alguna referencia acerca de la orientación estratégica o tecnológica del CPI.
3. Que los criterios e indicadores de desempeño establecidos en el CAR se basan en metas anuales, y no se establece algún requerimiento explícito para definir una planeación estratégica o tecnológica a largo plazo.

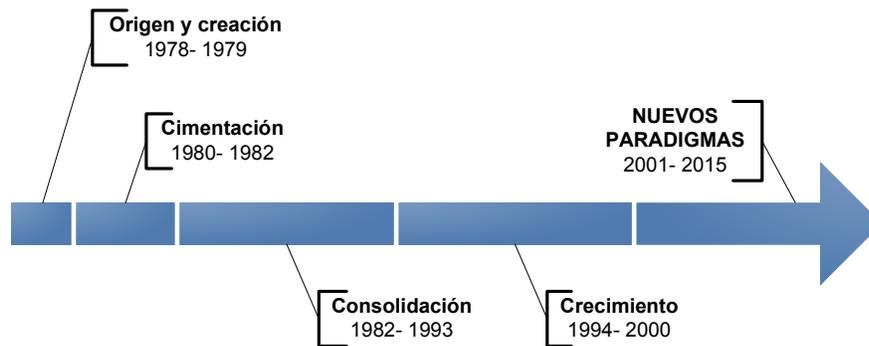
En el Convenio de Administración de Resultados (CAR) se establece que las actividades que el CPI determine realizar a un plazo mayor, se reportan mediante el “Programa de Mediano Plazo”. La pertinencia y resultados de las actividades emprendidas por el CPI en ese sentido, son evaluadas por su Órgano de Gobierno.

Por lo tanto, y de acuerdo a lo anterior, el CPI tiene la facultad de establecer su propia planeación estratégica y tecnológica, siempre y cuando se alinee con lo establecido en el CAR, y se apruebe por su Órgano de Gobierno. En ese sentido, es pertinente promover que el CPI adopte métodos como el presentado en este trabajo.

Modelo organizacional del CPI CIATEQ.

Con la finalidad de cumplir con sus objetivos, CIATEQ ha evolucionado a partir de un enfoque básicamente académico, o también conocido como “technology push”, el cual consiste en la realización de desarrollos e innovaciones tecnológicas, para las cuales se buscan posteriormente posibles aplicaciones y usuarios, a un enfoque mediante el cual se busca satisfacer una serie de demandas específicas. Este enfoque es conocido como “market pull”, ya que las actividades de investigación y desarrollo se ejecutan considerando las necesidades del sector al que van dirigidas; sin embargo, debe considerarse que el conocimiento y orientación hacia el mercado por sí mismo demerita el desarrollo interno de la organización, por lo que el reto consiste en integrar estas dos estrategias en un círculo virtuoso mediante el cual se satisfagan las necesidades de investigación y desarrollo de la industria, al mismo tiempo que se realizan actividades de planeación y gestión tecnológicas basadas en el análisis del mercado y las tendencias tecnológicas a nivel nacional e internacional.

La figura 15 muestra las principales etapas en la evolución de CIATEQ: 1. Origen y creación, 2. Cimentación, 3. Consolidación, 4. Crecimiento y 5. Nuevos Paradigmas.



**Figura 15. Principales etapas de la evolución de CIATEQ.
(Elaboración propia)**

A continuación se describe brevemente cada una de las etapas mostradas en la figura 15:

1.- Origen y creación (1978 – 1979)

- . Establecimiento de Objetivos, mismos que a la fecha continúan vigentes.
- . Se inician actividades de vinculación con industrias del estado, en temas de asesorías en diseño, control de producción y métodos de manufactura.

2.- Cimentación (1980 – 1982)

- . Actividades de difusión y promoción con el sector industrial y académico.
- . Apoyo a programas para la sustitución de importaciones, asesorías en metalurgia para selección de nuevos materiales y desarrollo de piezas para la industria textil, minera y petrolera. Primeros contactos con la industria de la construcción.

- . Se llevan a cabo cursos y seminarios sobre temas como corte de metales, dimensionado y ajustes con tolerancias, programación Pascal, programación de máquinas de control numérico y tecnología de fundición.

- . Se desarrolla por primera vez una cartera de servicios tecnológicos, basada en las capacidades técnicas y el compromiso del personal con la industria.

3.- Consolidación (1982 – 1993)

- . CIATEQ empieza a crecer y se intensifica la realización de proyectos principalmente contratados por empresas públicas como SIDENA, BANRURAL, DINA, Ingenios Azucareros.

- . Se especializa CIATEQ en la aplicación de la ingeniería hidráulica y neumática, así como en la automatización y el control. CIATEQ se convierte en un pionero en la utilización de técnicas de diseño como CAD, CAM y MEF.

4.- Crecimiento (1994 – 2000)

- . Se consolidan las competencias medulares del Centro:

 - Aplicaciones de hidráulica y neumática.

 - Automatización y control.

 - Ingeniería mecánica y diseño con técnicas modernas por computadora

 - Metalurgia.

 - Transmisión de potencia y turbomaquinaria.

 - Fabricación de prototipos.

- . Es necesario incrementar la generación de recursos propios: “todos a vender”.

- . Implantación y Certificación del ISO-9001:1994

- . Seguimiento específico por Unidades de Negocio.
- . Se crea el Área de Investigación para atender el cumplimiento de otros objetivos relacionados con la investigación aplicada, la generación de conocimiento y la formación de recursos humanos

5.- Explosión (2001 – 2006) y Nuevos Paradigmas.

- . A partir del 2001 se tiene una explosión en las ventas. Es en esta época cuando CIATEQ se percata de que el crecimiento en ventas no garantiza resultados.
- . CIATEQ cuenta con una gran fortaleza en su cultura de vinculación y servicio a los clientes, fortaleza en la que se debe sustentar el futuro.
- . Sin embargo, la evolución natural conlleva otros problemas de tipo cultural que empiezan a ser una seria amenaza para el crecimiento y viabilidad del Centro: Cada vez es más riesgoso seguir tomando compromisos de proyectos grandes porque, además de no poder financiarlos, se aumenta más que proporcionalmente el riesgo.

Considerando estos retos, en el 2005 CIATEQ decide realizar una reingeniería de su Modelo de Operación, con la finalidad de hacer una utilización más eficiente de los recursos, facilitar la articulación de las disciplinas que concurren en los proyectos, contribuir a la especialización de las áreas, mejorar la administración de los proyectos, incrementar el nivel de autosuficiencia financiera del Centro (rentabilidad y liquidez), y elevar la competitividad mediante la generación, preservación y aplicación del conocimiento.

La figura 16 muestra las principales etapas en la evolución del modelo de operación de CIATEQ, caracterizadas por la certificación en ISO-9001, la obtención del Premio Nacional de Tecnología y la adopción de un modelo de operación orientado a Sistemas, mediante el cual se busca balancear los enfoques “Market Pull” y “Technology Push”.

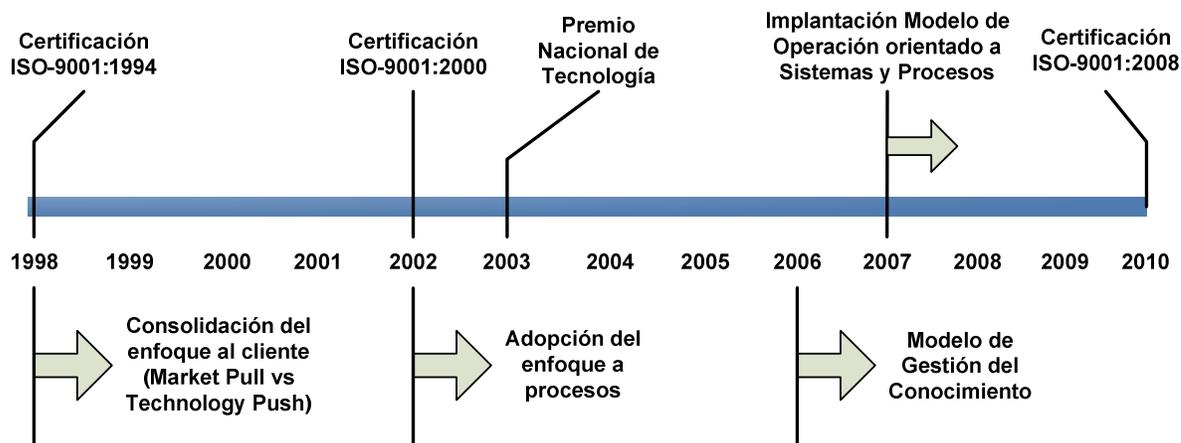


Figura 16. Desarrollo del Modelo de Operación de CIATEQ.

Es común que un Centro de I+D llegue a un estado en el que se encuentre ante una limitación para innovar y desarrollarse tecnológicamente hacia el interior, ya que para estas organizaciones suele no ser fácil estructurar iniciativas en campos aparentemente no relacionados con las áreas técnicas. El crecimiento de la organización y de su impacto en el entorno hace necesario modificar el modelo de operación, para determinar y hacer evidentes los sistemas de gestión subyacentes, posibilitando a este tipo de instituciones transitar a un estado superior y adelantarse a un posible freno en su desarrollo, lo que sin duda conllevaría impactos importantes en el entorno científico y tecnológico nacional. (Martínez-Berumen, 2007).

Dada la naturaleza de sus funciones, actores e interacciones necesarias para llevar a cabo sus actividades, el Centro de I+D requiere de nuevas formas de organización. Como respuesta a esta necesidad, a partir del 2005 se inició con el diseño y desarrollo de un Modelo de Operación orientado a Sistemas, el cual se define como un esquema teórico que dispone a todos los elementos de la organización como una unidad integrada para el logro de objetivos comunes y alcanzar la visión estratégica, mediante la definición de sistemas especializados dentro de la institución, con la finalidad de crear sinergia y potenciar al máximo las capacidades organizacionales. La implantación de este modelo de operación inició en el 2007. Dada la relevancia que el capital intelectual tiene para un Centro de I+D, este nuevo modelo de operación se estructuró de acuerdo a un Esquema de Gestión de Conocimiento.

La hipótesis que sustentó el desarrollo de dicho Modelo de Operación fue: “La evolución a un modelo de gestión orientado a sistemas es una alternativa efectiva para integrar y alinear el logro de los indicadores globales de desempeño en los rubros de transferencia de tecnología a los sectores productivos, creación de conocimiento, formación de recursos humanos y eficiencia operativa (sostenibilidad), en un Centro de Investigación y Desarrollo que ha presentado un crecimiento exponencial de sus operaciones, y que mantiene un sistema de gestión de la calidad con enfoque a procesos”.

Una de las ventajas que tuvo CIATEQ para diseñar e implantar este nuevo modelo de operación fue la experiencia acumulada en la implantación y certificación de su Sistema de Gestión de Calidad, el cual, al basarse en la norma ISO-9001, promueve el concepto

de mejora continua. El concepto de innovación es considerado por la norma ISO-9004:2009. Dado que la Investigación y Desarrollo son componentes esenciales de la innovación, se abre la puerta a otros modelos tales como el descrito en las normas mexicanas publicadas durante el 2007 y el 2008 (NMX-GT-001-IMNC-2007, NMX-GT-002-IMNC-2008, NMX-GT-003-IMNC-2008, NMX-GT-005-IMNC-2008), las cuales describen a un Sistema de Gestión de Tecnología.

En el diseño del Modelo de Operación, se consideró el impacto de la normativa nacional e internacional. Un aspecto a favor del uso de normas como base para el diseño de las operaciones de una organización es que permiten la adopción de mejores prácticas. Sin embargo, debe considerarse el impacto de la normalización en la innovación, evitando que el modelo de operación se vuelva demasiado rígido (Swann, 2004). Para ello, es importante poner especial cuidado en la adaptación de dichos conceptos en el diseño del Modelo de Operación, considerando sus implicaciones prácticas.

Otro de los objetivos fundamentales para el Centro de I+D es el desarrollo y explotación de sus capitales (Estructural, Relacional, Humano y Tecnológico). La Figura 17 resume los principales capitales de CIATEQ. Por su naturaleza, el Sistema de Gestión de Calidad organiza y agrupa una buena parte del Capital Estructural y puede contribuir en gran medida a fortalecer el capital tecnológico, dado que los elementos que constituyen al Sistema de Calidad describen el Know-how organizacional; asimismo, la disciplina documental generada por el Sistema de Calidad permite contar con una base útil para la capitalización del conocimiento y las actividades de protección de la propiedad intelectual. El contar con un Sistema de Calidad maduro es una condición favorable para

un Centro de I+D que desea realizar una reingeniería de su modelo de operación, para fortalecer los aspectos tecnológicos que son la base de su competitividad.



Figura 17. Activos intelectuales, capitales y procesos organizacionales (Lizardi-Nieto, 2009).

CIATEQ declara a la innovación como uno de sus valores organizacionales. La figura 18 muestra los principales aspectos relacionados con la innovación, la mayoría de los cuales se refieren a aspectos culturales.



Figura 18. Innovación y creación de valor [Adaptado del "MAKE framework" (Teleos, 2008)].

En la figura 18, se representa al liderazgo como promotor y detonante de la innovación, al ser el elemento definitorio de una cultura organizacional orientada a la innovación, la cual funge como marco para la colaboración y el intercambio de conocimientos, actividades que, como se ha mencionado, son características de la transdisciplinariedad y que pueden derivar en la innovación. En esta sección se describirá la forma en la que estos aspectos se consideraron en el diseño y operación del modelo de operación de CIATEQ.

El centro de I+D organiza sus actividades técnicas de acuerdo a una serie de disciplinas, cada una de las cuales interactúa con las líneas temáticas o de negocio en la realización de las actividades de vinculación, desarrollo, investigación y formación, para mantener un enfoque adecuado al mercado y mantener su competitividad. La figura 19 resume la forma en que cada línea temática se relaciona con las necesidades de la industria, identificando necesidades tácitas que puedan convertirse en proyectos de investigación e innovación, con la finalidad de ofrecer soluciones innovadoras al mercado.

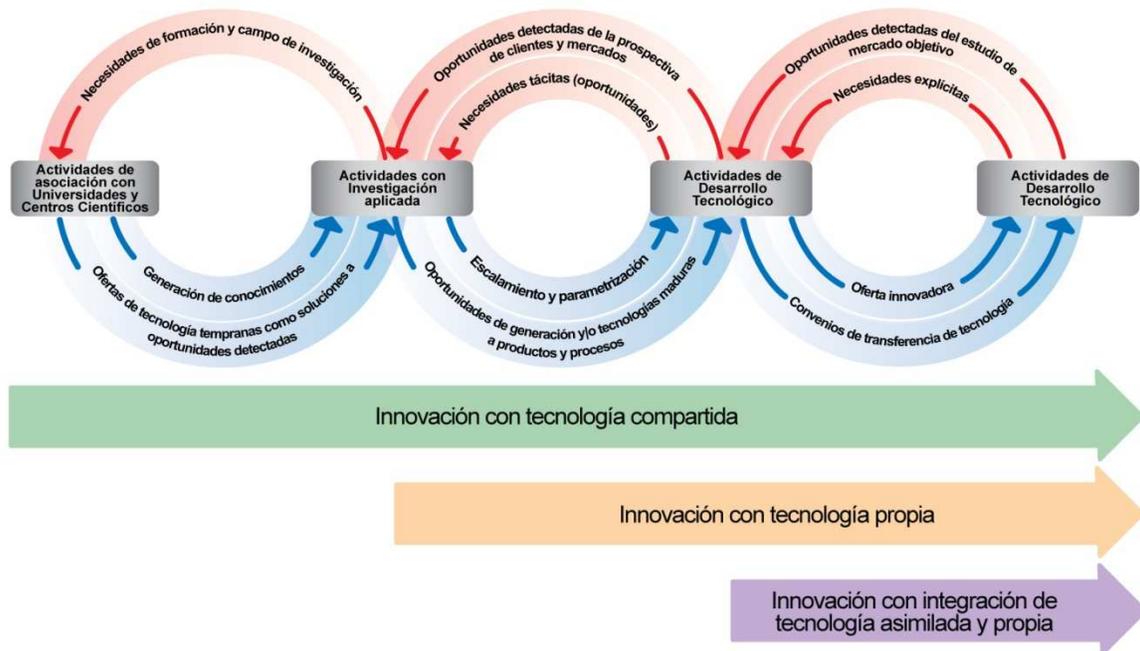


Figura 19. Actividades y desarrollo de las líneas temáticas (modelo de innovación) (Baquero-Herrera, et al., 2008)

En la figura 19, el extremo derecho representa la vinculación del CPI con sus clientes, mediante la oferta de productos y servicios tecnológicos que se ponen a disposición del mercado. Entregar dichos productos y servicios tecnológicos requiere la ejecución de actividades de desarrollo tecnológico al interior del CPI, las cuales se representan en la figura hacia la izquierda, lo cual simboliza las actividades que el CPI desarrolla internamente. De manera análoga, las actividades de desarrollo tecnológico se “nutren” de las actividades de investigación aplicada desarrolladas por el CPI como parte de su estrategia tecnológica. Estas últimas requieren, para su desarrollo y consecución exitosas, de un adecuado desarrollo del capital humano, mediante el desarrollo de actividades académicas dirigidas a la generación de conocimientos fundamentales y tecnologías tempranas, que puedan integrarse a las actividades internas de investigación.

Para fomentar la innovación, es necesario promover y regular las interacciones entre las líneas temáticas. Cada línea temática interactúa con las demás en la atención de las diferentes líneas de negocio. La figura 20 muestra la interacción entre las líneas temáticas y de negocios, indicando asimismo las actividades que cada línea temática desarrolla y que fueron mostradas en la figura 19. La innovación es una necesidad que puede satisfacerse mediante el análisis multidisciplinario de las necesidades tácitas y explícitas de los clientes de las distintas líneas de negocio.

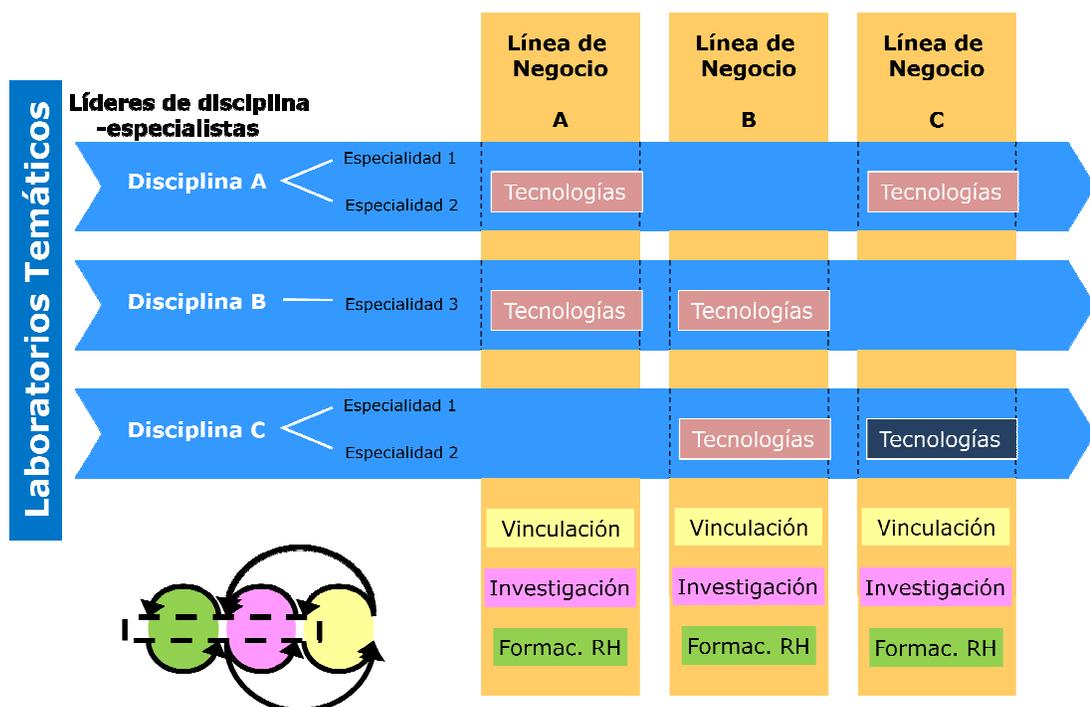


Figura 20. Interacción de las disciplinas y líneas de negocios.

En la figura 20, se representa cómo los especialistas de cada disciplina desarrollan las actividades de formación de recursos humanos, investigación y vinculación, con la finalidad de consolidar la oferta de valor que se ofrece al mercado a través de las líneas

de negocio del CPI. Asimismo, se representa que las actividades tecnológicas internas del CPI son soportadas por los laboratorios especializados con que cuenta el CPI.

Como ya se ha mencionado, CIATEQ tiene la facultad para determinar su propia estrategia, mediante la cual pueda lograr su visión. Como parte de las estrategias relacionadas con el desarrollo de las líneas temáticas, y por ende, con la mejora de la competitividad del Centro, se promueve la presentación y desarrollo de proyectos internos de investigación. La figura 21 representa el esquema general mediante el cual se revisan y aprueban los proyectos de investigación propuestos internamente.

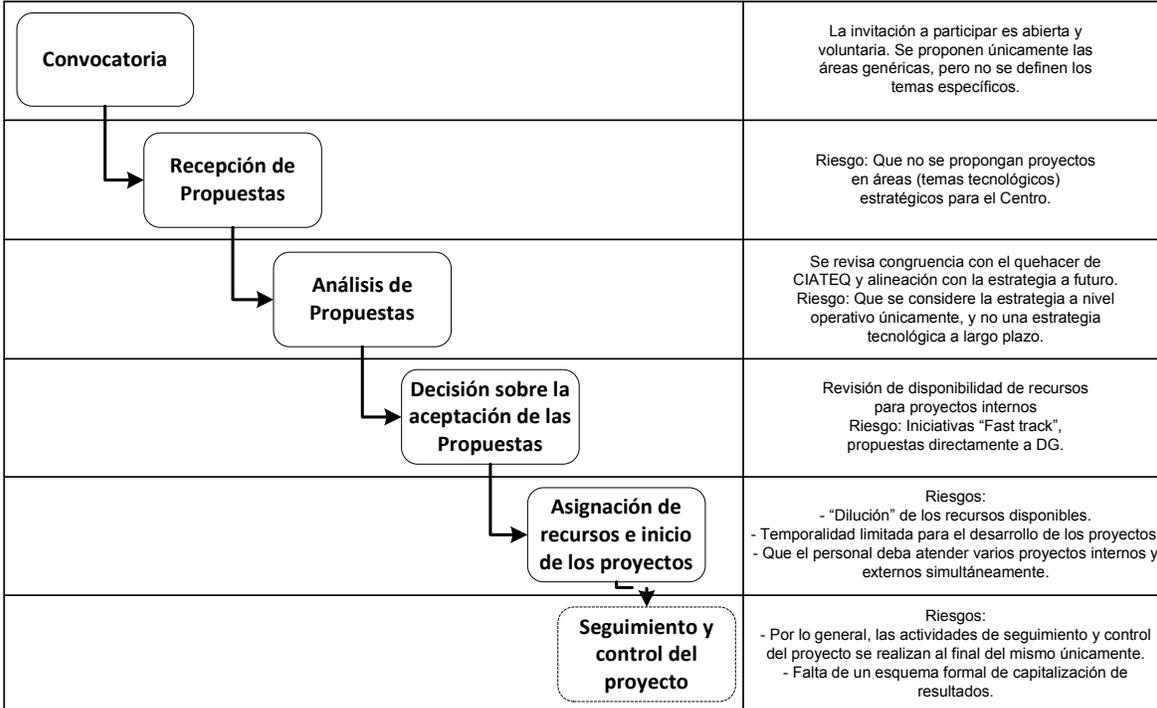
Actividades	Descripción
 <p>Convocatoria</p>	<p>La invitación a participar es abierta y voluntaria. Se proponen únicamente las áreas genéricas, pero no se definen los temas específicos.</p>
<p>Recepción de Propuestas</p>	<p>Riesgo: Que no se propongan proyectos en áreas (temas tecnológicos) estratégicos para el Centro.</p>
<p>Análisis de Propuestas</p>	<p>Se revisa congruencia con el quehacer de CIATEQ y alineación con la estrategia a futuro. Riesgo: Que se considere la estrategia a nivel operativo únicamente, y no una estrategia tecnológica a largo plazo.</p>
<p>Decisión sobre la aceptación de las Propuestas</p>	<p>Revisión de disponibilidad de recursos para proyectos internos Riesgo: Iniciativas "Fast track", propuestas directamente a DG.</p>
<p>Asignación de recursos e inicio de los proyectos</p>	<p>Riesgos: - "Dilución" de los recursos disponibles. - Temporalidad limitada para el desarrollo de los proyectos. - Que el personal deba atender varios proyectos internos y externos simultáneamente.</p>
<p>Seguimiento y control del proyecto</p>	<p>Riesgos: - Por lo general, las actividades de seguimiento y control del proyecto se realizan al final del mismo únicamente. - Falta de un esquema formal de capitalización de resultados.</p>

Figura 21. Esquema general para revisar y aprobar proyectos internos de investigación. (elaboración propia)

En la figura 21 se observan cinco principales etapas, que abarcan desde la convocatoria que internamente se realiza para proponer proyectos internos de investigación, hasta la asignación de recursos a los proyectos seleccionados. Por lo general, el seguimiento y control del proyecto se realiza al final de los proyectos. Si, como producto de un proyecto, se detecta una oportunidad de desarrollo posterior, se puede proponer continuar con el proyecto para el siguiente periodo. Actualmente, la operación mediante este esquema implica varios riesgos, los cuales se indican en cada etapa de la figura. Siendo la principal causa de dichos riesgos, la falta de formalización cuantitativa e incluso cualitativa de los análisis que se realizan en cada etapa. Asimismo, el seguimiento y control de los proyectos es escaso durante el desarrollo de los mismos, lo cual constituye un riesgo para el logro o reformulación de los objetivos establecidos para cada uno de ellos. Adicionalmente, es necesario desarrollar un esquema para la capitalización de los resultados, ya que no siempre se realiza un ejercicio interno de lecciones aprendidas, y la difusión de los resultados a la comunidad suele realizarse mediante un reporte del proyecto y -en ocasiones- una presentación general de los resultados.

Desarrollo del Modelo de Operación orientado a Sistemas y Procesos.

Considerando los objetivos estratégicos de la organización y las funciones que CIATEQ debe realizar para cumplirlos, así como las diferentes normas y sistemas de gestión relacionados con la operación del Centro de I+D, en el 2005 se desarrolló una nueva arquitectura para el modelo de operación, con el objetivo de potencializar las

capacidades organizacionales, mediante un esquema que promueva la visión sistémica en la organización, considerando que el CPI se conceptualiza como una jerarquía de sistemas que interactúan para el logro de los objetivos organizacionales.

La Figura 22 muestra el método general mediante el cual se definieron los sistemas organizacionales.

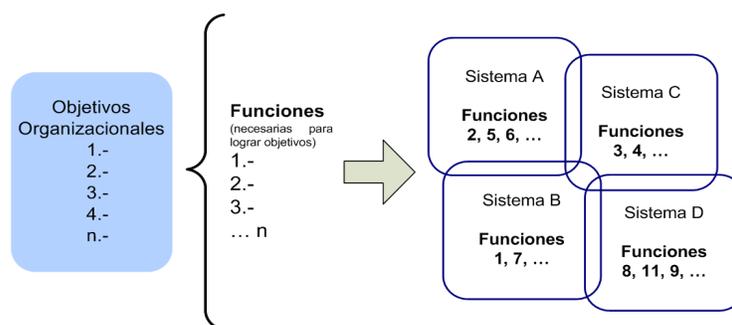


Figura 22. Método para definición de los Sistemas Organizacionales (Martínez-Berumen et al., 2009).

En la figura 22, se indica que el método utilizado para definir los sistemas organizacionales inicia con la identificación de los objetivos que el CPI debe cumplir. Dichos objetivos determinan el propósito del CPI, por lo que es importante que se identifiquen mediante un análisis exhaustivo. A partir de dichos objetivos, se identifican las funciones organizacionales necesarias para cumplirlos. Dichas funciones se agrupan a su vez de acuerdo a su afinidad. Los sistemas organizacionales se definen a partir de dichas agrupaciones y ejecutan sus funciones mediante una serie de procesos, cuya interacción con los procesos del resto de los sistemas organizacionales, deriva en el logro de los objetivos generales del CPI.

El primer paso en el proceso de reingeniería consiste en realizar un análisis funcional, con el objetivo de identificar a los sistemas constitutivos, los cuales a su vez se integran por procesos. La figura 23 muestra las principales interacciones identificadas al realizar el análisis funcional de la operación. Al observar este diagrama, la complejidad en la operación del Centro es evidente, considerando que un sistema complejo es “una totalidad organizada, en la cual los elementos no pueden ser separables, y por lo tanto, no pueden ser estudiados aisladamente” (García, 2006).

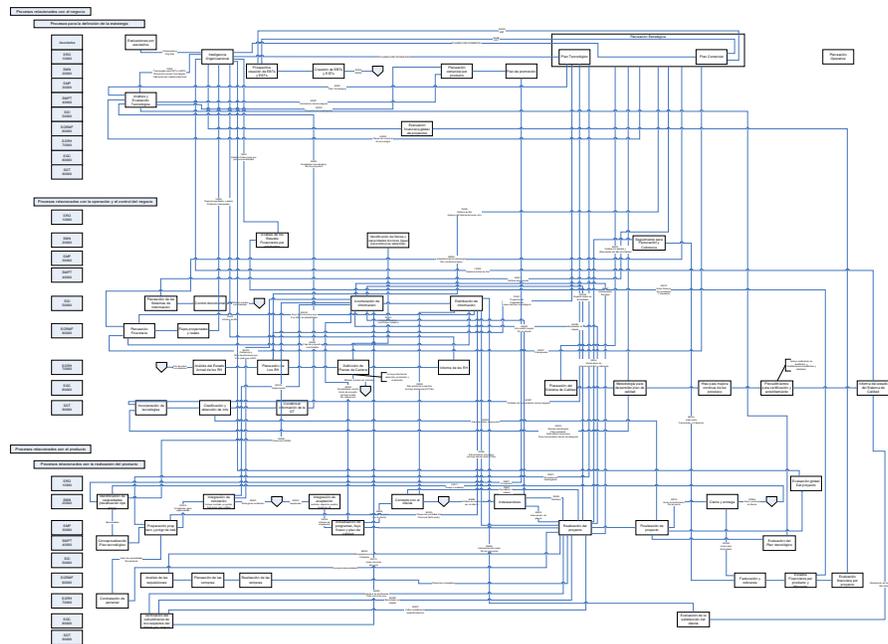


Figura 23. Principales funciones e interacciones en la operación del CIATEQ (Martínez-Berumen et al., 2009).

La figura 23 se presenta con la única finalidad de mostrar que, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, el CPI presenta propiedad emergente, lo que implica que las funciones del sistema global no pueden deducirse de las propiedades de sus elementos individuales, ya que el sistema completo opera como una totalidad de funciones que interactúan intensamente. Por lo tanto, en el estudio de esta organización debe

mantenerse y asegurarse un enfoque global, el cual puede obtenerse a través del enfoque sistémico.

La importancia de realizar este mapa de interacciones durante las fases tempranas del proyecto ha sido resaltada por Sage y Lynch (Sage, 1998), quienes mencionan que muchas representaciones convencionales de la fase de desarrollo de Ingeniería de Sistemas no se enfocan en la integración durante las actividades tempranas del proceso; la falta de un enfoque adecuado en la integración y definición de interfases, podría provocar problemas posteriores en la integración y posible falta de continuidad en las interfases del proceso durante la integración formal y pruebas de validación del modelo.

Los sistemas interactúan entre sí mediante las interacciones de los procesos que los constituyen. La identificación de dichas interacciones es crucial, dado que la calidad y subsecuente adaptación del modelo de operación depende de este paso. El análisis funcional depende de los diversos Sistemas de Gestión que deben ser integrados, considerando por ejemplo: El Sistema de Gestión de Calidad, el Sistema de Gestión de Salud y Seguridad, Seguridad de T.I., Sistema de Gestión Ambiental, Sistema de Gestión de la Tecnología, Gestión de Proyectos, Sistema de Gestión Financiera, Gestión de Riesgos, entre otros. El fallar en analizar todos estos factores juntos, podría ocasionar una pobre integración y alineación del modelo de operación.

Un aspecto crítico durante la definición de los sistemas organizacionales es reconocer y respetar la diversidad de funciones que se realizan en el modelo de operación, permitiendo también el autocontrol para cada uno de los sistemas y su interacción. Una

solución que podría considerarse tentadora sería promover la homogeneidad entre sistemas, considerando que “las sociedades homogéneas tienen menos conflictos” (Durkheim, 1893) y son por lo tanto, más fáciles de controlar. Sin embargo, una menor diversidad implicará una menor capacidad de adaptación a cambios repentinos (Gershenson, C., 2007).

Una de las características del Modelo de Operación orientado a Sistemas, es que puede ser descrito como un Sistema Complejo Adaptable (SCA) (Martínez-Berumen, et al., 2010). La Figura 24 muestra la relación entre el método utilizado para determinar los sistemas organizacionales, y el ciclo de los Sistemas Complejos Adaptables descrito por Gell-Mann (1994).

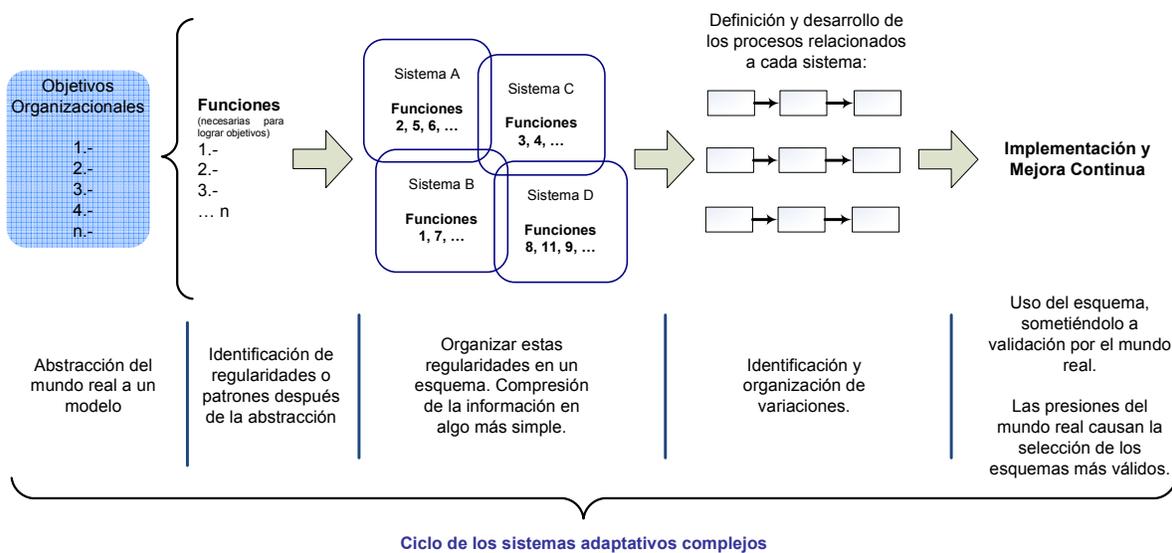


Figura 24. Definición de sistemas organizacionales y el ciclo de los sistemas complejos adaptables (Martínez-Berumen, et al., 2010)

En la figura 24, la identificación de los objetivos organizacionales implica la abstracción del mundo real a un modelo. Identificar las funciones corresponde al reconocimiento de las regularidades o patrones, las cuales se organizan en sistemas, como resultado de la “compresión de la información en algo más simple”. Al desarrollar los procesos de cada sistema, se identifican las variaciones que se pueden presentar en la operación y organización del sistema. Finalmente, la implementación del modelo de operación implica la “validación por el mundo real” que indica Gell-Mann (1994), ya que a través de la aplicación real se identifican oportunidades para el mejoramiento continuo del modelo de operación.

Con la finalidad de mantener la flexibilidad, y permitirle al modelo de operación evolucionar libremente, durante el 2010 se ha migrado la documentación que lo describe (la cual forma parte del capital estructural) a un sistema wiki, el cual consiste en un conjunto de elementos de información interconectados entre sí. El tener la documentación del modelo de operación en este sistema, permite actualizar el modelo y sus componentes según se requiera. Adicionalmente, las actividades transversales del Sistema de Gestión de Calidad, (tales como auditorías) contribuyen a la verificación y mejora del Modelo de Operación.

Como resultado del desarrollo descrito, se concluyó que el Modelo de Operación orientado a Sistemas se compone de ocho sistemas, los cuales ejecutan todas las funciones organizacionales identificadas y representadas en la figura 23. En la Figura 25 se representa a dichos sistemas.

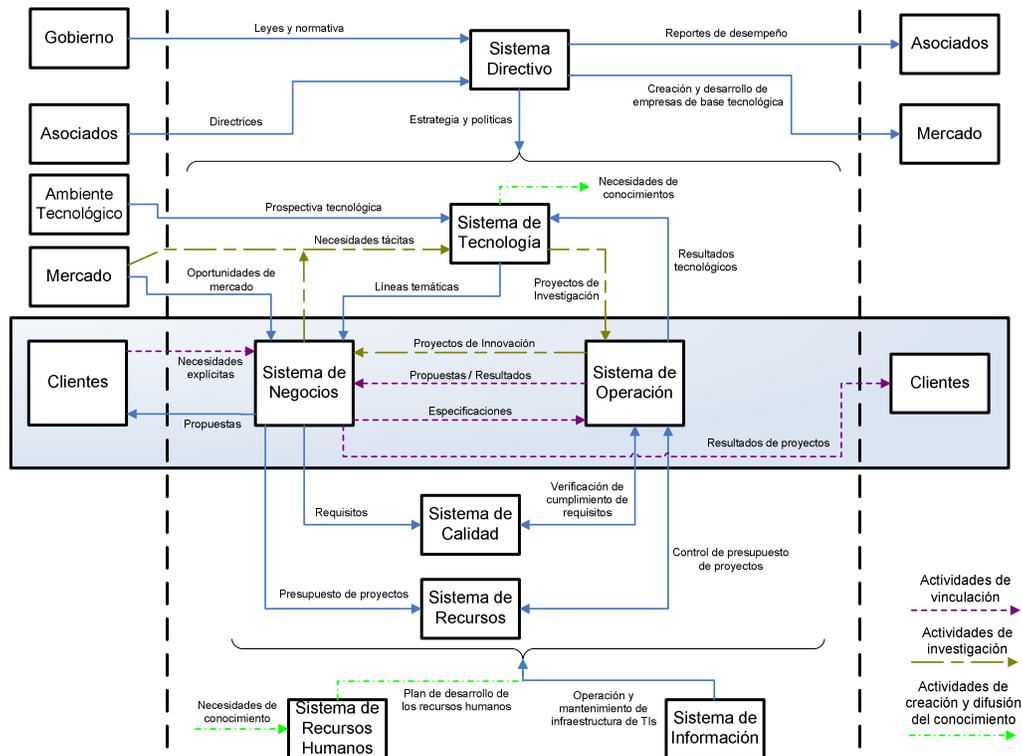


Figura 25. Principales interacciones de los Sistemas Organizacionales (Martínez-Berumen, et al., 2010).

En un Centro de I+D, existe una intensa interacción entre los sistemas organizacionales, lo que resulta en una operación con un alto nivel de complejidad. En la figura 25, se indican las principales interacciones entre los sistemas organizacionales obtenidos en los pasos anteriores. Es importante notar que el diagrama mostrado en esta figura condensa toda la información que describe al modelo de operación del CPI, de tal manera que describe la totalidad de funciones que el CPI CIATEQ ejecuta para lograr sus objetivos. Las líneas discontinuas describen las actividades relacionadas con investigación, innovación y creación de valor, por lo que la tecnología y la innovación son actividades consideradas como parte integral del Modelo de Operación. Al describir a la organización como una interacción de sistemas, es posible definir Metas e Indicadores para cada uno de ellos y sus procesos, alineados a los Objetivos Estratégicos generales.

En el Modelo de Operación ilustrado en la figura 25, se incluye la representación de los actores externos (Gobierno, Asociados y Clientes), así como los principales aspectos del entorno que representan una influencia significativa para el CPI (ambiente tecnológico y mercado). En la práctica, y como se revisará en el capítulo 4, las herramientas y métodos necesarios para abordar a cada uno de estos elementos externos son diferentes.

El Modelo de Operación orientado a Sistemas es afín al Modelo del Sistema Viable (VSM) propuesto por Beer (1972, 1979, 1985), el cual es un modelo de la estructura organizacional de un sistema viable o autónomo. En este contexto, un sistema viable es cualquier sistema organizado de tal manera que puede cumplir las demandas de su entorno y subsistir en un ambiente cambiante. El VSM se compone por 5 sistemas que interactúan a favor del logro de los objetivos del sistema general. Dichos sistemas cumplen las siguientes funciones:

Sistema 1: Se refiere a la ejecución de las funciones que implementan por lo menos una parte de las transformaciones clave de la organización.

Sistema 2: Representa a los elementos que coordinan la ejecución de las actividades del Sistema mediante la funciones de información y comunicación y posibilitan el monitoreo y control por parte del Sistema 3.

Sistema 3: Representa a las estructuras y controles que se establecen con la finalidad de buscar un rendimiento óptimo y sinergia entre los elementos del Sistema 1, mediante la definición de reglas, recursos, derechos y responsabilidades. Proporciona una interfaz con los Sistemas 4 y 5. Una subfunción del sistema 3

consiste en evaluar la información e interacciones mediante el ejercicio de auditorías.

Sistema 4: Cumple la función de monitorear el entorno, con la finalidad de determinar la forma en que la organización debe adaptarse para continuar siendo viable en el largo plazo.

Sistema 5: Responsable de decidir acerca de las políticas que conciernen a toda la organización, para balancear las demandas presentes, futuras, internas y externas, con la finalidad de moderar las interacciones entre los sistemas y dirigir a la organización como un todo.

Uno de los objetivos del Modelo de Operación orientado a Sistemas es posibilitar el diálogo preciso acerca de las propiedades ideales de cada sistema, y poder especificarlo en términos claros y cuantitativos, estudiando a los sistemas organizacionales mediante conceptos tales como sostenibilidad, seguridad, sobrevivencia, robustez (definida como la habilidad de un sistema organizacional para mantener sus principales parámetros en niveles predeterminados, a pesar del impacto de fuerzas internas y externas), versatilidad (habilidad de un sistema para satisfacer diversas expectativas sobre el sistema, sin necesidad de cambiar su estructura principal), intercambiabilidad (habilidad de un sistema para modificar su forma -y consecuentemente posiblemente su función- a un nivel aceptable de inversión de recursos), flexibilidad (la habilidad de un sistema para ser modificado por un agente de cambio ajeno al sistema), adaptabilidad (la habilidad de un sistema para ser modificado por un agente de cambio perteneciente al propio sistema), escalabilidad (habilidad del sistema para cambiar el nivel actual de un

parámetro de especificación del sistema), modificabilidad (habilidad de un sistema para cambiar el conjunto actual de parámetros de especificación).

Se ha mencionado que la organización de una institución de investigación y desarrollo suele describirse como un sistema complejo. La Tabla 3 muestra los atributos de sistemas complejos propuestos por Sheard y Mostashari (2009) relacionados con CIATEQ, lo que confirma la complejidad del Centro I+D.

Tabla 3: Atributos de Sistemas Complejos en CIATEQ

Características de sistemas complejos	CIATEQ
1. Partes autónomas en interacción (agentes)	Cada Sistema de Gestión se concibe como un elemento autónomo, interactuando con otros sistemas y procesos.
- Fronteras difusas	Interfases entre los Sistemas de Gestión y los Procesos. Funciones y procesos “Trans-organizacionales”. Interfases entre las líneas temáticas y de negocios.
2. Auto-organización	Cada Sistema de Gestión y departamento funcional tiene la capacidad para auto-organizarse (dentro de los límites establecidos por el Modelo de Operación)
- Entrada y salida de energía	Las actividades de mejora continua e innovación dentro de los Sistemas Organizacionales.
3. Muestran un comportamiento emergente de macro-nivel	La ejecución de los procesos y las actividades puede tener una estructura diferente a la originalmente concebida.
- No-linealidad	El desempeño institucional puede variar, dependiendo no necesariamente del desempeño de los elementos individuales.
- Falta de jerarquía y autoridad central	Cada sistema opera como un elemento autónomo. Sería complicado controlar toda la operación a un nivel detallado.
- Varias escalas	Grupos y departamentos funcionales, procesos, sistemas, sistema general.
4. Adaptación al entorno (ambiente)	Adopción de normas nacionales e internacionales. Adaptación a los requerimientos de los clientes. Monitoreo del ambiente tecnológico y toma de acciones en consecuencia.
- Incremento de la complejidad con el tiempo; incremento de la especialización	Actividades de mejora e innovación implican especialización, lo que aumenta la complejidad.
- Los elementos cambian en respuesta a presiones de los elementos vecinos	Las interfases e interacciones llevan a solicitudes de cambio y propuestas de mejora por parte de otros elementos.

La ejecución del modelo de operación ha permitido visualizar acciones futuras de análisis y mejora del modelo de operación, y como se ha mencionado, al conceptualizar a la organización bajo un enfoque de sistemas, es posible cuantificar variables de la operación del Centro de I+D que anteriormente eran difíciles de conceptualizar y medir. Por lo tanto, el presente proyecto de investigación toma al Modelo de Operación descrito como base para desarrollar una metodología basada en un modelo sistémico-conceptual y cuantitativo que permita apoyar a la toma de decisiones respecto a la factibilidad de desarrollarse en áreas del conocimiento inexploradas o exploradas parcialmente por el Centro de I+D.

III. BASES Y MÉTODO PARA EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

El presente capítulo se divide en dos partes principales:

- . En la primera de ellas (3.1) se describe el método mediante el cual se identificaron, a partir de los elementos teóricos presentados en el capítulo II, los elementos internos y externos, relevantes para la toma de decisiones en nuevas tecnologías en un CPI.
- . Con base en lo anterior, en el apartado 3.2 se describe la manera en la que dichos elementos se integraron en un modelo sistémico-conceptual.

La integración de estos factores derivó en la propuesta metodológica que se presenta en el capítulo 4.

3.1 Método para construir un modelo sistémico conceptual

El contar con una metodología formal es necesario para la clara transmisión del conocimiento y la posibilidad de reproducir los resultados, o, en este caso, de que los resultados de la investigación puedan ser aplicados en otros centros de I+D.

Actualmente, existe entre la comunidad dedicada a la investigación en Ingeniería de Sistemas, una discusión intensa acerca de la formalización de la metodología de los proyectos de investigación relacionados con esta disciplina (Brown, 2009) (Ferris,

2009). Al respecto, debe considerarse que una de las características de la Ingeniería de Sistemas, es que conjunta métodos propios de las ciencias de la ingeniería y métodos pertenecientes a otros campos del conocimiento, incluyendo las ciencias sociales y la administración. La formalización de la metodología en un proyecto de este tipo presenta varios retos. Sin embargo, el establecimiento de metodologías formales en investigación de Ingeniería de Sistemas no solo es importante, sino que es crítico para el crecimiento, maduración y credibilidad de la disciplina (Brown 2009).

Desde que se concibieron las bases del pensamiento sistémico, se ha perseguido la idea de que diferentes disciplinas influyan y se enriquezcan unas a otras, “a través de la transferencia de principios, conceptos, métodos, técnicas y valores” (Ruiz et al., 2010) en el marco de una única metateoría de sistemas. Al respecto, Von Bertalanffy (1976) propuso: 1. Investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en varios campos, y proponer transferencias; 2. Favorecer el desarrollo de modelos teóricos adecuados en donde faltaran; 3. Reducir la duplicación de esfuerzo teórico; 4. Promover la unidad de la ciencia.

Al respecto hay ejemplos notables, en donde, efectivamente, se ha presentado esta fecundación cruzada; sin embargo, hasta el momento no se ha encontrado un método formal para propiciar este intercambio interdisciplinario. Aparentemente, los resultados que se han logrado, corresponden más bien a los esfuerzos de ciertos individuos visionarios, más que a la facilitación o guía de una metodología desarrollada para tal fin. Los ejemplos son vastos. Van desde el estudio de la relación entre información y organización, teoría de la información y termodinámica (Gilbert, 1966), a la aplicación

de los conceptos de la dinámica de sistemas adaptables, originalmente desarrollados por biólogos y físicos, al estudio de sistemas económicos (Newman, et al., 2006), pasando por una amplia gama de ejemplos, provenientes de diferentes disciplinas y especialidades científicas y tecnológicas.

Considerando la diversidad de facetas de la ciencia, es necesario percibirla de un modo multidimensional (Fernández-Rañada, 2003), sin embargo, también es necesario “unificar” esa percepción (Frank Hoeflich, 2010). La metodología propuesta para este proyecto es un ejemplo de cómo la Ingeniería de Sistemas puede jugar ese papel “unificante”, trabajando activamente en conjunto con representantes de todo tipo de disciplinas. La Ingeniería de Sistemas, dada su orientación, y al ser una disciplina relativamente nueva, se encuentra en un lugar privilegiado para promover la unidad entre las diferentes corrientes de pensamiento. Esto, no solamente con fines de integración, sino que es fundamental para asegurar su propia subsistencia como disciplina. Dada la amplitud de su alcance, la Ingeniería de Sistemas no puede apoyarse en una metodología monolítica. Cada una de las metodologías que comprende puede ser útil en una fase concreta del proceso o para un tipo concreto de sistemas; lo que todas ellas comparten es su enfoque: el enfoque de sistemas (Daedalus, 2009).

Se denomina modelo al resultado del proceso de generar una representación abstracta, conceptual, gráfica, visual, física o matemática, de fenómenos, sistemas o procesos, a fin de analizar, describir, explicar, simular: en general, explorar, controlar y predecir, esos fenómenos o procesos. Un modelo se construye para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

En la metodología propuesta, se ha dividido el problema en diferentes tipos de modelos. La figura 26 muestra el método mediante el cual se han definido los modelos que conforman la metodología.

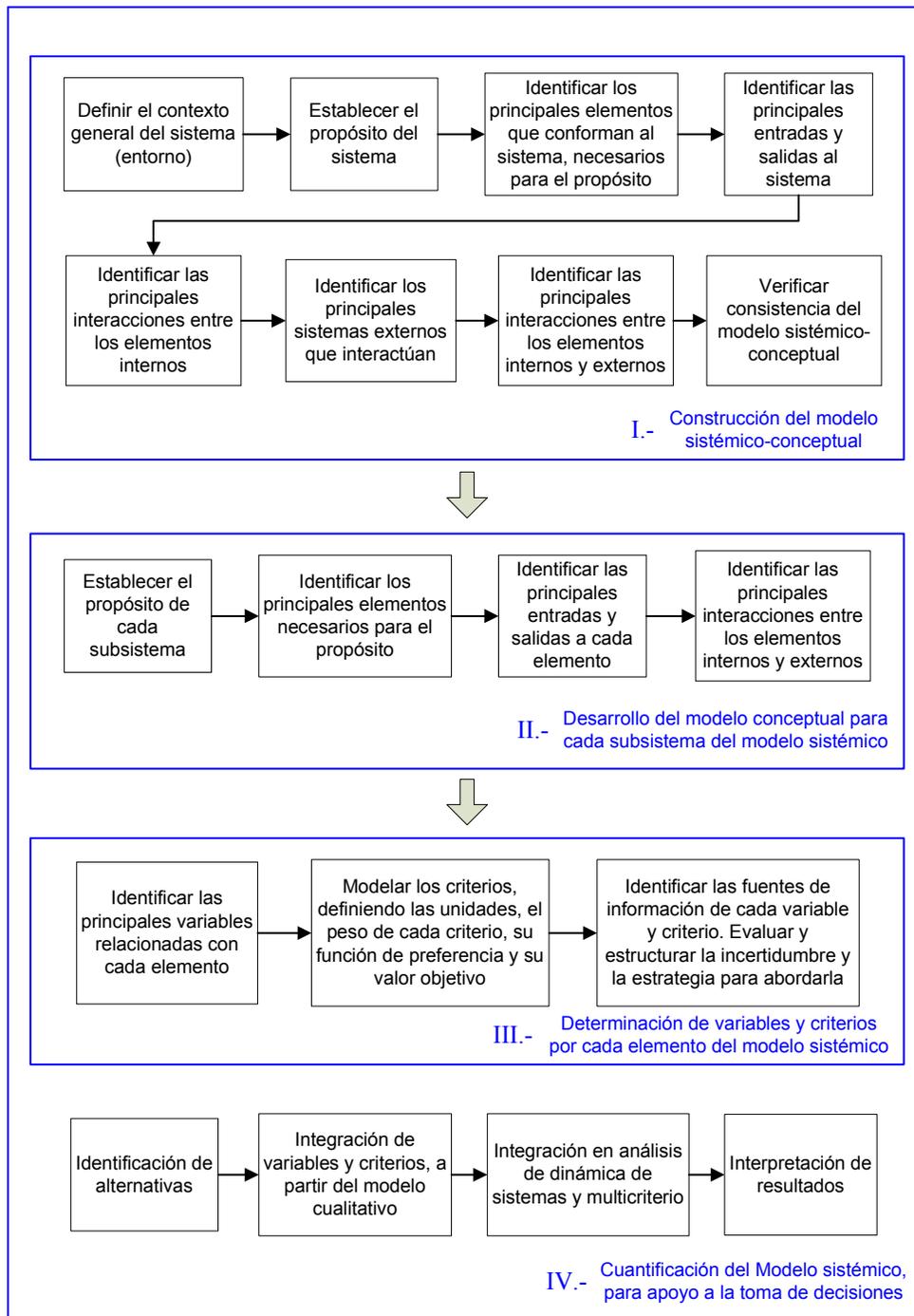


Figura 26. Método para construcción y cuantificación del modelo sistémico-conceptual. (elaboración propia)

La metodología mediante la cual se construyó el modelo sistémico-conceptual, mostrada en la figura 26, consiste de 4 etapas, las cuales se describen a continuación:

- I.- *Construcción del modelo sistémico conceptual.* La metodología inicia con la construcción de un modelo sistémico-conceptual, a partir del cual se describe a los principales elementos e interacciones relacionados con la toma de decisiones en tecnologías (ver capítulo 2). Dicho modelo sistémico-conceptual se detalla en varios modelos jerárquicos, que describen a los diferentes elementos del sistema general. En esta etapa se determinan los límites del sistema bajo análisis, los cuales se identifican considerando el propósito y funciones del mismo. Al ubicar las fronteras es posible identificar los elementos externos que interactúan con el sistema. Se identifican los elementos internos y sus interacciones, así como las entradas y salidas, necesarias para que el sistema ejecute sus funciones. Asimismo, se identifican las principales interacciones entre los elementos internos y externos.
- II.- *Desarrollo del modelo conceptual de los elementos internos.* A partir del modelo sistémico conceptual se identifica la jerarquía de subsistemas relacionados a éste. Se identifican los sistemas constitutivos, así como la finalidad de cada uno de ellos, de acuerdo al propósito del sistema general, las principales entradas y salidas de cada elemento, y las interacciones intra-sistema e inter-sistemas.
- III.- *Determinación de variables y criterios.* A partir del modelo sistémico-conceptual y del modelo de cada uno de sus elementos, se identifican las variables que han de

integrarse en el análisis de Dinámica de Sistemas, y se modelan los criterios a ser considerados en el análisis Multicriterio. Asimismo, se identifican las fuentes de información y la incertidumbre relacionada a cada criterio.

IV.- *Aplicación del modelo sistémico para apoyar la toma de decisiones.* A partir de las alternativas identificadas, se integran las variables y criterios en un análisis de dinámica de sistemas y un análisis multicriterio, con la finalidad de apoyar a la toma de decisiones.

En la sección 3.2 se muestra la manera como se utiliza este método para desarrollar el modelo sistémico-conceptual. En el capítulo 4 se presenta la propuesta metodológica basada en dicho modelo.

Es importante recalcar que los modelos son aproximaciones a la realidad, que deben considerarse como hipótesis científicas, hasta que sean corroboradas por evidencias empíricas en el ámbito para el que fueron diseñados. Debido a ello, y mediante la evaluación de la aplicabilidad de la metodología propuesta (capítulo 5), se espera contar con información suficiente para mostrar la factibilidad de aplicar la metodología propuesta al caso específico del CPI CIATEQ, lo que servirá también para identificar áreas o temas de investigación o desarrollo futuro.

3.2 Desarrollo del Modelo Sistémico-Conceptual

A partir de las bases teóricas descritas en el Capítulo 2, y mediante la aplicación de las etapas I y II (“Construcción del modelo sistémico conceptual” y “Desarrollo del modelo conceptual de los elementos internos”, respectivamente) del método expuesto en la sección 3.1 (figura 26), se desarrolla el modelo sistémico conceptual, el cual se integra por los elementos identificados, necesarios para apoyar la toma de decisiones en nuevas tecnologías en un Centro Público de Investigación.

Construcción del Modelo Sistémico Conceptual.

Como se indica en el apartado I del método para desarrollar el modelo sistémico conceptual (figura 26), la construcción de dicho modelo inicia con la ubicación del contexto general del sistema. En este caso, el contexto del Centro Público de Investigación se ha descrito en el apartado 2.3 (Marco histórico y contextual) de este documento. El propósito del sistema a desarrollar se ha descrito en el apartado 1.2 de este documento, y se refiere a definir un “esquema mediante el cual los CPIs puedan organizar la toma de decisiones en nuevas tecnologías, identificando y controlando los aspectos que contribuyen a desordenar dicha actividad”. A partir de estas premisas, y considerando lo presentado en el marco teórico del proyecto (apartado 2.2), se han identificado los elementos que conforman el sistema. La figura 27 representa al Modelo Sistémico-Conceptual del proyecto, el cual contiene los principales subsistemas y elementos institucionales relevantes para la toma de decisiones en nuevas tecnologías y,

por lo tanto, necesarios para lograr el propósito descrito. Los elementos se agrupan en seis subsistemas enumerados I, II, III, IV, V-1 y V-2 en dicha figura.

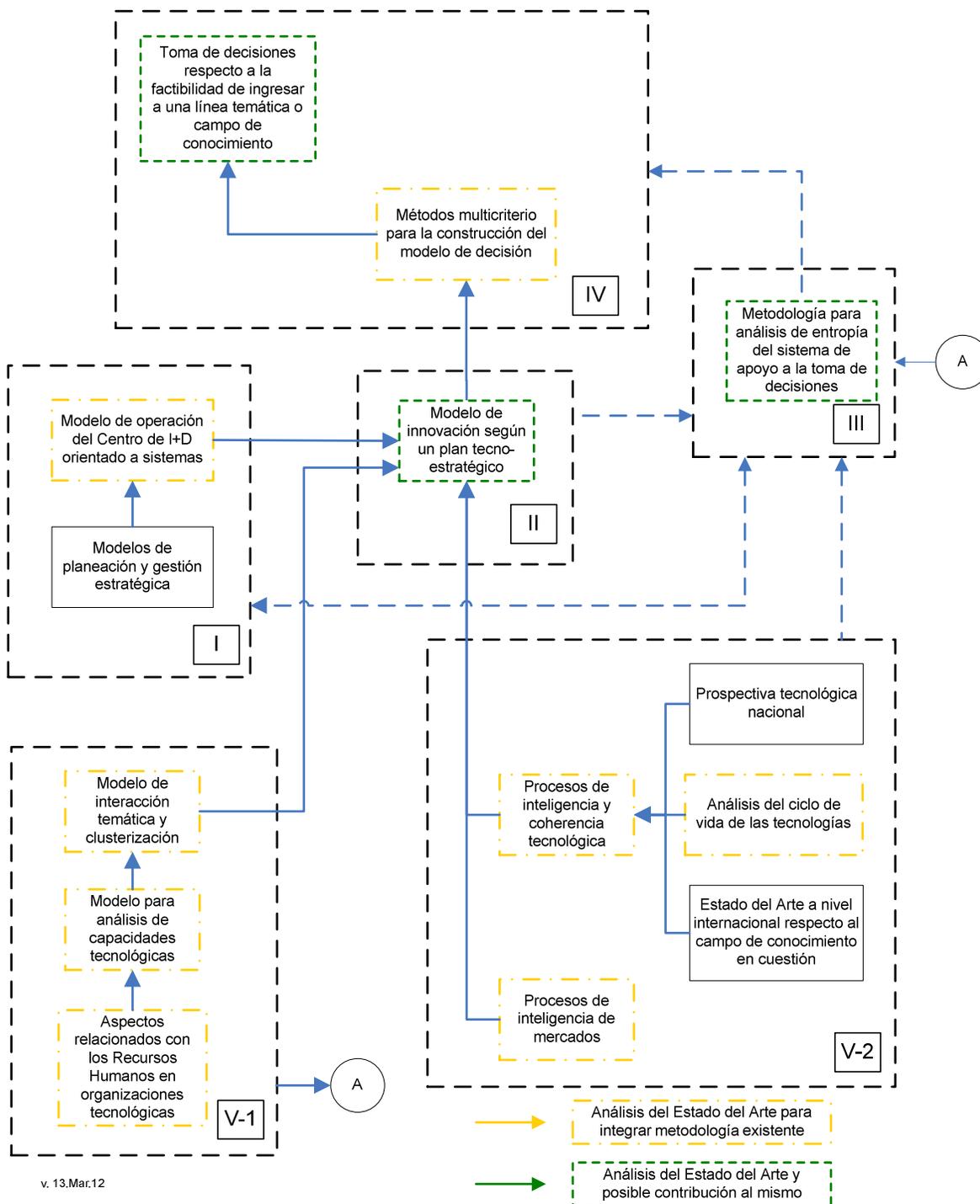


Figura 27. Modelo sistémico-conceptual.
(elaboración propia)

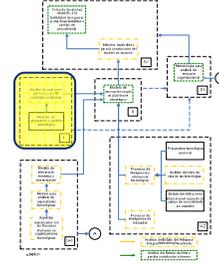
Como se ha mencionado, los elementos del modelo sistémico conceptual se han determinado a partir de las bases teóricas presentadas en el capítulo II. Del marco teórico (2.1) se identifican elementos relevantes, de acuerdo al estado del arte, y a partir del marco histórico y contextual (2.2) se identifican elementos importantes para el CPI, de acuerdo a su problemática y a la forma en que el CPI se organiza para abordarla. Considerando estos dos factores, se identifica el propósito de cada elemento del modelo sistémico-conceptual.

Descripción de los subsistemas y sus elementos.

Esta actividad corresponde a la etapa II (Desarrollo del modelo conceptual para cada subsistema del modelo sistémico) del método expuesto en la sección 3.1 (figura 26). El modelo sistémico-conceptual presentado en la figura 27 se estructura en cuatro subsistemas principales (I a IV) y dos subsistemas secundarios o de apoyo (V-1 y V-2). En la figura 27 se indica en cuáles elementos se considera que, como resultado de este proyecto, puede haber una contribución al estado del arte. A continuación se describe cada uno de los subsistemas que conforman al modelo sistémico-conceptual, puntualizando los objetivos y consideraciones específicas de cada elemento:

I.- Modelos de Operación en centros de I+D

Uno de los primeros elementos a analizar es el modelo de operación del Centro de I+D; entendiendo como “modelo de operación” la manera en la que la institución se estructura y organiza para llevar a cabo sus funciones.



El Modelo de Operación se constituye por el capital estructural descrito en la figura 17 y posibilita el desarrollo del resto de los capitales (humano, relacional y tecnológico) en conjunto. Su estudio es de especial relevancia, dado que ofrece información acerca de la estructura organizacional actual y las transformaciones que ha experimentado. Estas últimas, ofrecen referencias claras acerca de su flexibilidad y también de su aptitud para integrar nuevos elementos en la operación del CPI. Es también relevante el análisis de las interacciones descritas en el modelo de operación, ya que, como se ha mencionado en el apartado 2.1 (C) “Planeación estratégica y tecnológica”, para una organización es vital contar con un esquema que le permita integrar y potencializar la ejecución de sus funciones, dado que las interacciones posibilitan el intercambio productivo para el desarrollo y la innovación.

El modelo de operación del CPI puede estudiarse a través de ciertas características como las siguientes:

- Amplitud y cobertura de las funciones del CPI, descritas en el modelo de operación, y conformadas como parte del capital estructural de la organización.

- Información acerca de la estructura organizacional y los cambios que ha sufrido.
- Evolución organizacional de un centro de I+D (transformaciones organizacionales que el CPI ha experimentado).
- Implementación y evolución de Sistemas de Gestión Normalizados, tales como Sistemas de Gestión de la Tecnología, Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC) o Sistemas de Gestión Ambiental en el centro de I+D.
- Aplicación de los conceptos de Ingeniería de Sistemas en el CPI.
- Integración de modelos de operación tradicionales con un Modelo de operación orientado a sistemas.
- Integración de procesos en un centro de I+D mediante el concepto de ingeniería de sistemas.

Para el desarrollo de la estructura de un sistema es necesaria la intervención de un efector que promueva y fomente la evolución de dicha estructura. En el caso de las organizaciones, dicho efector es el proceso de planeación, el cual, como se ha mencionado en la sección 2.1A “Enfoque de Sistemas – Teoría de los Sistemas Complejos”, puede operar de manera explícita (generando iniciativas tales como reorganizaciones, implementación de sistemas de gestión normalizados o herramientas informáticas para la gestión de su operación, entre otras) o tácita (sin una articulación aparente de iniciativas).

El estudio del tema de la dinámica del cambio organizacional, mediante el análisis de la capacidad del modelo de operación para evolucionar y adaptarse a diferentes circunstancias, es importante, dado que ciertas decisiones relacionadas con la adopción o

incursión en nuevas tecnologías podrían implicar la necesidad de un cambio organizacional. Dicho cambio debería planificarse y gestionarse como una acción estratégica.

Relacionado con el tema de la dinámica del cambio organizacional, el ingreso a una tecnología o campo del conocimiento determinado puede requerir un cambio específico en el esquema de organización del centro I+D, o incluso podría ser implicar la modificación del “perfil tecnológico” de la organización, por lo que es necesario conocer la afinidad de dichos cambios con el modelo de operación actual, así como la flexibilidad del modelo de operación para integrar cambios en éste. Al respecto, es importante considerar las implicaciones de la complejidad dinámica y su efecto en las variables de estado del Centro de I+D. Piepenbrock (2004), realizó un análisis en el cual relaciona varias magnitudes físicas con la caracterización del estado organizacional. La figura 28 muestra una analogía entre un modelo pendular y los ciclos relacionados con el desempeño organizacional. En esta figura, se representa la característica de un sistema organizacional para comportarse de manera cíclica.

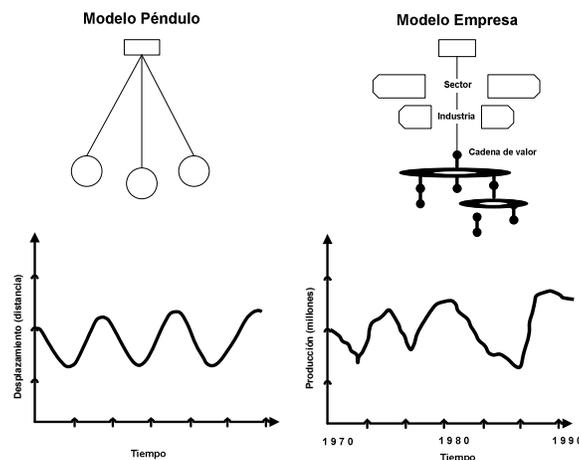
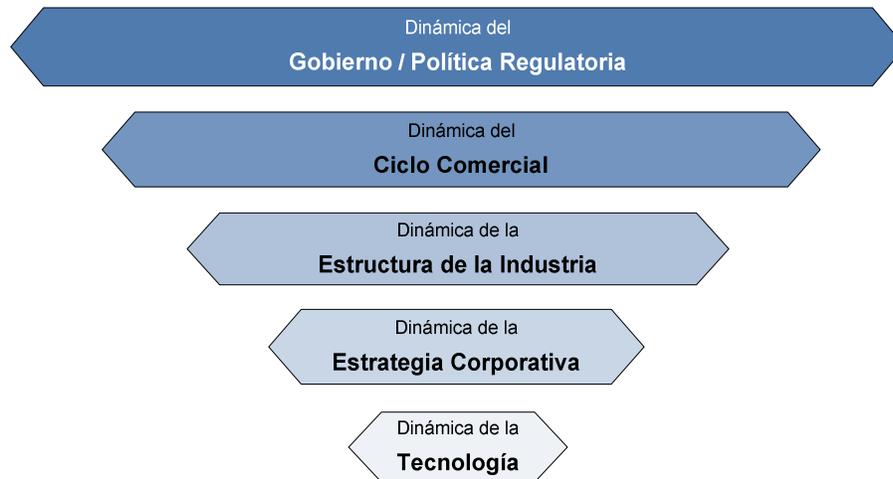


Figura 28. Analogía de conceptos físicos en las organizaciones.

Esta analogía surgió a partir del trabajo de Fine (1998), quien describió cinco fuerzas relacionadas con la complejidad organizacional: 1. Políticas Gubernamentales/Regulatorias, 2. Ciclo de Negocios, 3. Estructura Industrial, 4. Estrategia Corporativa, y 5. Tecnología. Fine describió estos elementos del sistema como fuentes de complejidad dinámica, dado que cada una de ellas permanece en cambio constante, pero cada una de ellas a ritmos diferentes, como se muestra en la figura 29, donde se aprecia que las cinco fuerzas tienen diferentes periodos; es decir: se mueve a velocidades diferentes, siendo la dinámica de la tecnología, la variable que presenta un periodo más corto.

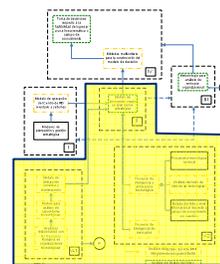


**Figura 29. Representación pendular de las cinco fuerzas de Fine.
(adaptado de Fine, 1998)**

Posteriormente se retoma esta reflexión acerca de la dinámica de los aspectos relacionados con la toma de decisiones en nuevas tecnologías, ya que su consideración es útil para definir la temporalidad asociada a la aplicación de la propuesta metodológica

descrita en el capítulo 4 y para la construcción de los modelos de dinámica de sistemas relacionados.

II.- Modelo de innovación según un plan tecnológico-estratégico y sus interacciones con los aspectos tecnológicos internos y los aspectos tecnológicos externos y de mercado.¹



De acuerdo al Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología (2006), la innovación “tiene sus procesos autónomos basados tanto en el aprendizaje asociado a la negociación, transferencia y asimilación de tecnología, como en las actividades productivas y los cambios organizacionales. Las actividades de C&T y de innovación deben articularse de manera estructurada para generar un círculo virtuoso y valorizar sus aportaciones al desarrollo económico y social”. Debido a lo anterior, es importante considerar al tema de innovación como parte del modelo sistémico conceptual asociado a la toma de decisiones en nuevas tecnologías.

El objetivo de este subsistema es describir el modelo de innovación del centro de I+D, mediante la identificación de los principales parámetros internos que determinan su desempeño, considerando las capacidades internas del CPI, las cuales están determinadas en gran medida por los aspectos de los recursos humanos de estas organizaciones (V-1) y el análisis de los aspectos externos, tal como el conocimiento del

¹ Los temas relacionados con los aspectos tecnológicos internos y los aspectos tecnológicos externos y de mercado se refieren a las agrupaciones V-1 y V-2 de la figura 27. Más adelante se detallarán estos temas.

entorno tecnológico, mediante el análisis de la información de inteligencia y coherencia tecnológica, así como la inteligencia de mercados (V-2).

Respecto al tema de innovación hay una gran cantidad de modelos y esquemas disponibles en la literatura, tal como se ha presentado en la sección 2.1 (C) “Planeación estratégica y tecnológica”. Una buena parte de los autores concuerda en que los factores críticos de la innovación incluyen factores tales como liderazgo, ambiente (cultura), creación y transferencia de conocimiento, organización (procesos) y ejecución. Algunas fuentes (Koivisto, 2005) (Teece et al., 1997), describen a la innovación como un conjunto de “capacidades dinámicas”, lo que presenta oportunidades para investigar la relación entre estos dos conceptos. Zollo & Winter (2002), definen a las capacidades dinámicas como “la capacidad de la organización para integrar, construir y reconfigurar las competencias internas y externas de la organización, con la finalidad de impactar ambientes en cambio constante”. Las capacidades dinámicas reflejan entonces una habilidad organizacional para lograr nuevas e innovadoras formas de ventajas competitivas, dado un conjunto de parámetros que describen la estrategia organizacional y la posición del mercado.

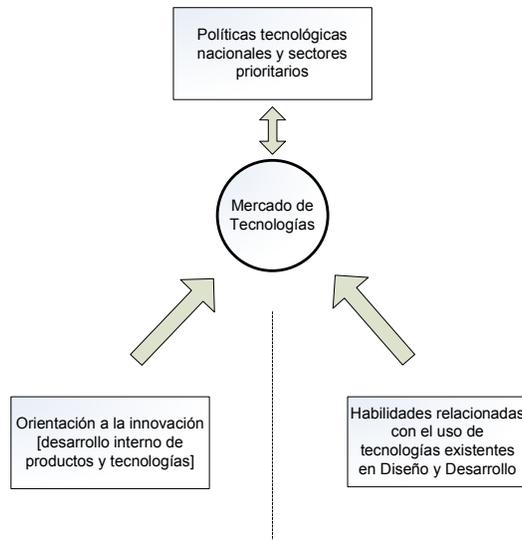
Para llegar a una síntesis de los conocimientos asociados al proceso de innovación, los principios de la modelación sistémica (Ackoff, 1981) (Le Moigne, 1990) parecen bien adaptados para obtener este marco de referencia, ya que la metodología asociada a la Teoría de Sistemas tiene por objetivo progresar en la comprensión de fenómenos complejos y se centra en el estudio de flujos de información y de procesos de decisión,

que tienen una influencia ampliamente reconocida sobre el desempeño de la innovación (Lesca, 1989).

El proceso de innovación toma información de diversas fuentes, entre las cuales se encuentra principalmente el conocimiento científico, dado que “es muy difícil alcanzar la capacidad de pensar de manera original sin una base y una formación científica” (Fernández-Zayas, 2001). Asimismo, para el proceso de innovación es necesario partir del reconocimiento de la necesidad de productos o procesos nuevos o mejorados. Con estas premisas, es posible iniciar un proceso que podría derivar en el descubrimiento de una tecnología económicamente atractiva en una o más áreas de aplicación.

Un aspecto que se relaciona estrechamente con la capacidad del centro para innovar es el de la flexibilidad, ya que es a través de los esquemas evolutivos de organización, como el proceso de innovación es más eficiente. Esto nos hace considerar a la flexibilidad interna de la empresa como una habilidad que le confiere una ventaja competitiva. Esta es una interacción importante entre el subsistema I “Modelo de operación del Centro de I+D” y la innovación.

Consideramos que la competitividad de un CPI depende fundamentalmente de dos aspectos: 1. su orientación a la innovación (habilidad para desarrollar nuevos productos y tecnologías propias) y 2. Sus capacidades para el uso de tecnologías existentes en actividades de Diseño y Desarrollo para mejora de productos y procesos productivos. Esto se representa en la figura 30.



**Figura 30. Factores de la competitividad en el Centro I+D.
(elaboración propia)**

Después de identificar las necesidades u oportunidades en el mercado, es posible desarrollar una innovación mediante un proceso iterativo basado en estos conceptos, es decir, el nuevo sistema comienza a existir en el momento en que se describen sus funciones e interacciones más generales, y a partir de ahí, evoluciona hasta tomar su forma final, como un producto que puede introducirse al mercado. Al ser un proceso iterativo, los requisitos y especificaciones técnicas se desarrollan gradualmente, descartando las soluciones inviables, y desarrollando alternativas óptimas, construyendo paulatinamente la arquitectura del sistema.

El número y dificultad de las iteraciones relacionadas con el desarrollo de la innovación dependerá, entre otras, de los siguientes factores, identificados por Machado (1990):

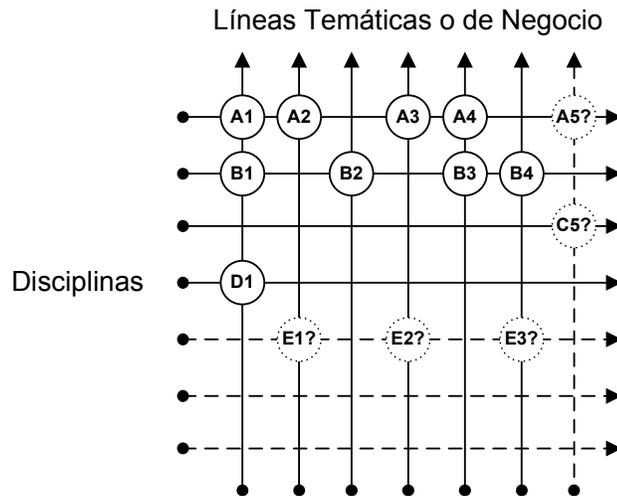
- Nivel relativo de novedad.
- Condiciones específicas del producto o proceso a desarrollar.

- Nivel de interacción y comunicación entre los participantes.
- Características técnicas del producto a desarrollar
- Infraestructura y recursos disponibles.

Al utilizar este enfoque, la innovación evoluciona sistemáticamente, hasta llegar a un estado en que pueden utilizarse herramientas de Ingeniería de Sistemas para desarrollar el producto en cuestión; esto se presenta en el momento en el que ya es posible diseñar la solución específica a partir de la información generada en el proceso descrito.

El proceso de innovación involucra una serie de actividades tanto científicas y tecnológicas como organizacionales, financieras y comerciales, por lo que se ha vuelto cada vez más complejo, su campo se ha ampliado y las investigaciones tradicionales sobre la administración de la innovación difícilmente pueden considerar el efecto de tal complejidad. De aquí que, como se ha mencionado, la Teoría de Sistemas sea particularmente bien adaptada para tomarla como marco de referencia en el análisis de la concepción de nuevos paradigmas en el entendimiento y formulación de nuevas formas de administración de este proceso.

Al estudiar el modelo de innovación del CPI, y como se ha mencionado en el apartado 2.3 “Marco histórico y contextual”, es importante tomar en cuenta las interacciones entre las disciplinas y las líneas temáticas o de negocio. La figura 31 esquematiza las interacciones entre las disciplinas, representadas por las líneas horizontales, y las líneas temáticas o de negocio, representadas por las líneas verticales. Como se muestra en el diagrama, una disciplina puede participar en varias líneas temáticas simultáneamente.



**Figura 31. Interacción de líneas temáticas y de negocios.
(Martínez Berumen, et al., 2010)**

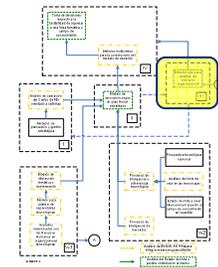
Al respecto de dichas interacciones, es importante considerar ciertos aspectos, como los siguientes:

- En cada interacción (ejemplo A1) con cada línea temática o de negocio, se asigna a los especialistas adecuados de cada disciplina, para resolver el problema específico de la línea temática.
- Cada disciplina se desarrolla considerando las líneas de negocio con las que “cruza”. En el caso mostrado en la figura 31, deben considerarse las interacciones A1-A4 para desarrollar el plan tecnológico de la disciplina A.
- De manera análoga, el desarrollo de cada línea temática o de negocio se realiza considerando las capacidades de las disciplinas del CPI.
- De acuerdo a los análisis del mercado y del ambiente tecnológico, pueden identificarse nuevas oportunidades para desarrollar internamente una disciplina que atienda las necesidades de una o varias líneas de negocio (E1-E3).

- De la misma manera, podría identificarse la oportunidad de establecer una nueva línea temática o de negocio, mediante la aplicación de tecnologías ya dominadas por el Centro de I+D, o mediante la inclusión de nuevas tecnologías (A5, C5).

Como se ha mencionado, la Ingeniería de Sistemas se ha desarrollado con la finalidad de lograr un balance entre subsistemas y entre disciplinas (Sheard y Mostashari, 2009). En este contexto, puede utilizarse en un CPI para integrar a las disciplinas con las líneas temáticas relacionadas a ellas, potenciando así las capacidades de innovación del Centro.

III.- Análisis de entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones.



En este proyecto se concibe al Centro Público de Investigación (CPI) como un Sistema Complejo Adaptable (SCA) (ver apartado 2.3 “Marco histórico y contextual”). Al conceptualizarlo bajo esta perspectiva, se fomenta la integración de diferentes disciplinas en el análisis y solución de problemas que enfrentan estas organizaciones, “bajo un enfoque integrador, que logre trascender las barreras disciplinarias” (Frank Hoeflich, 2010) (ver apartado 2.1A: “Marco Teórico – Teoría de los Sistemas Complejos”).

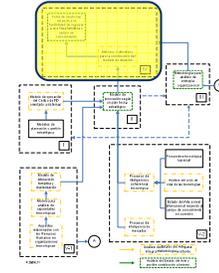
Se ha mencionado que los sistemas abiertos “deben sustraerse a la tendencia a la entropía creciente, es decir, a la tendencia a desorganizarse” (Lara-Rosano, 2002). Es por ello que los sistemas abiertos, al contrario que en los cerrados, generan neguentropía

(entropía negativa), lo que implica que logran evitar el aumento de entropía e incluso pueden desarrollarse hacia estados de orden y organización crecientes, gracias a que permanecen en estado homeostático (Von Bertalanffy, 1976), con la finalidad de mantener el equilibrio de su medio interno, contra las variaciones contingentes del medio externo (Lara-Rosano, 2002). La desorganización, entendida como la homogeneidad o falta de diferenciación entre los elementos de un sistema o de la estructura de un sistema respecto a la de su entorno (ver apartado 2.1B “Entropía – Entropía y desorden”) limita al sistema en el cumplimiento de sus fines.

Considerando lo anterior, se propone que en un sistema abierto, tal como el sistema de apoyo a la toma de decisiones descrito en el capítulo 4, es factible aplicar el concepto de entropía, según el enfoque de la teoría de la información, descrito en el apartado 2.1B: “Marco teórico – Entropía”, para evaluar el nivel de riesgo que las decisiones en tecnologías representan para el Centro de I+D. Como se muestra en la figura 27, dicho concepto se relaciona estrechamente con las variables organizacionales consideradas en el modelo de operación y en el modelo de innovación del CPI, influenciados también por otros elementos, tales como los relacionados con los recursos humanos, las capacidades tecnológicas y las interacciones temáticas al interior del CPI.

En el apartado 4.2 se describe la manera en la que se propone evaluar la entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones, mediante el análisis de la información obtenida al aplicar la propuesta metodológica descrita en el capítulo IV.

IV.- Toma de decisiones en nuevas tecnologías mediante métodos multicriterio y Dinámica de Sistemas



Las nuevas tecnologías requieren un esfuerzo importante para apoyar su implementación real. Dicho esfuerzo proviene principalmente de la creatividad y la investigación, la cual a su vez podrá conllevar a la innovación basada en conocimiento científico; cuestión que sólo los individuos de la organización (el recurso humano) pueden desarrollar, adaptar y adoptar. Debido a lo anterior, es necesario identificar las prioridades para ubicar los limitados recursos y presupuestos asignados para actividades de I+D, considerando que, además de incrementar las inversiones en este rubro, es necesario dirigir los recursos disponibles hacia proyectos con un beneficio social o económico probado, optimizando el proceso de innovación al mismo tiempo. Los Centros Públicos de Investigación no deben solamente incrementar la cantidad de investigación que realizan (entendida como productividad), sino también su calidad, la cual debe entenderse como efectividad, mediante la provisión de rápidas y adecuadas respuestas a los problemas tecnológicos actuales, con la finalidad de preparar el futuro tecnológico que el país demanda, de acuerdo a un entorno cada vez más dinámico. Las necesidades de los sectores que promueven investigación y desarrollo son cada vez más especializadas, lo que requiere esquemas adecuados de toma de decisiones, dado que las tecnologías, como los productos, tienen ciclos de vida específicos y serán, tarde o temprano, reemplazados por tecnologías más avanzadas. Para este fin, y de acuerdo a lo descrito en la figura 27, se propone aplicar métodos multicriterio como una herramienta útil para apoyar a la toma de decisiones en el Centro de I+D, particularmente para iniciar

o fortalecer áreas de conocimiento, ya sea inexploradas, o parcialmente exploradas, mediante la caracterización, priorización y optimización del portafolio de proyectos de I+D.

Skinner (1978) señala que “un patrón persistente al realizar la autopsia de fuertes crisis operativas de grandes organizaciones, y del cierre de muchas organizaciones pequeñas y medianas, es la inhabilidad de su grupo directivo para comprender y gestionar los componentes tecnológicos de sus organizaciones. Por lo que las decisiones acerca de las tecnologías de la organización son de importancia fundamental, y, por lo tanto, deben realizarse en el contexto amplio de la estrategia organizacional.”

El proceso de selección y evaluación respecto a tecnologías en un CPI es complejo, ya que “por un lado, hay varios expertos y tomadores de decisiones, cada uno de los cuales pueden tener diferentes opiniones respecto a la importancia o éxito de determinadas estrategias. Por otro lado, cada actor tendrá su propia opinión acerca de la importancia de cada uno de los diferentes criterios de evaluación” (Brans et al., 1998). En realidad, estos proyectos tienen múltiples criterios por naturaleza.

En el proceso de selección existe también una estructura jerárquica compuesta, la cual debe ser considerada para desarrollar un esquema de evaluación que será seguido por los tomadores de decisiones pertenecientes al CPI. Considerando lo anterior, es necesario emplear un enfoque adecuado de apoyo multicriterio a la toma de decisiones.

Las decisiones están intrínsecamente relacionadas a una pluralidad de perspectivas, las cuales de manera general pueden definirse como criterios (Figueira, et al., 2005). En el caso específico abordado en este proyecto, la toma de decisiones en tecnologías implica “realizar una selección en presencia de criterios múltiples” (Pomerol y Barba-Romero, 2000). El análisis multicriterio (MCDA, por sus siglas en inglés) es una perspectiva específica para abordar problemas de decisión (Figueira, et al., 2005). Los métodos multicriterio se basan en un conjunto de objetivos (criterios o atributos), definidos en relación a una meta determinada, estableciendo así, un esquema de decisión que puede ser analizado según un modelo cuantitativo. En este tipo de análisis es posible considerar los retos tecnológicos que enfrentan los sectores específicos a los cuales sirve el Centro de I+D, con la finalidad de seleccionar e implementar proyectos tecnológicos específicos.

Como se ha mencionado, en la literatura se proponen diversos métodos multicriterio de apoyo a la toma de decisiones (Figueira, et al., 2005) (Pomerol y Barba-Romero, 2000). Todos estos métodos se fundamentan en las mismas bases, pero varían de acuerdo a la información adicional que requieren (Brans y Mareschal, 2005). En este proyecto se utiliza el método PROMETHEE (Brans, 1996; Brans et al., 1986; Mareschal y Brans, 1988), considerando que el análisis del sistema de decisión provee escenarios que deben tomarse en cuenta en el análisis multicriterio. Dichos escenarios son mejor caracterizados cuando se consideran las preferencias de los involucrados en la toma de decisiones, respecto a los criterios relacionados al problema de decisión.

PROMETHEE es un método que establece una jerarquía ordenada (es un *outranking method*, en inglés), que se basa en el análisis del nivel de dominancia de una alternativa sobre otra (Bouyssous, 2009). Este método requiere cierta información adicional muy específica, la cual puede ser fácilmente obtenida y comprendida tanto por los tomadores de decisiones como por los analistas, respecto a las preferencias y las prioridades de los primeros, asociando una función de preferencia a cada criterio, así como las ponderaciones que describen su importancia relativa (Brans y Mareschal, 2005). En este proyecto se propone el uso del software DECISION LAB® (Brans y Mareschal, 1994), el cual se basa en el método PROMETHEE.

Brans et al., (1998) señalan que “una combinación armoniosa de Dinámica de Sistemas (Legasto et al., 1980) y el procedimiento multicriterio PROMETHEE de apoyo a la toma de decisiones (Brans y Mareschal, 1994), fundamentado en un modelado y simulación apropiadas, pueden contribuir significativamente a un apropiado control de sistemas socio-económicos, actuando en tiempo real en la estructura dinámica del sistema”. Los autores proponen el nombre de “metodología de control adaptativo” (Kunsch et al., 2001) para este enfoque.

De acuerdo a lo anterior, y considerando la interacción de sus elementos, el diagrama sistémico-conceptual mostrado en la figura 27 puede ser transformado en un modelo de dinámica de sistemas, de acuerdo a lo mencionado en la sección 2.1A “Enfoque de Sistemas – Dinámica de Sistemas”. Un análisis de dinámica de sistemas sería de utilidad, dado que el análisis del modelo de operación implica variables sociales, las cuales son difíciles de analizar mediante otros métodos. Una característica fundamental

de los sistemas sociales es que consisten de relaciones no-lineales, debido a que poseen límites físicos, sociales y psicológicos que sirven para restringir el comportamiento de la gente que forma parte de ellos (Radzicki, 1990). Algunas referencias como Sharp (1977) mencionan las etapas para realizar un estudio de dinámica de sistemas en diferentes tipos de sistemas.

Como se ha mencionado en los objetivos y en el capítulo 2 del proyecto, se plantea analizar la dinámica del sistema, investigando los ciclos de realimentación relacionados a las interacciones de los elementos indicados en la figura 27, para identificar las principales variables que determinan su desempeño, y generar escenarios a partir de ellas. Este tipo de análisis se complementa con los análisis multicriterio propuestos, con la finalidad de apoyar a la toma de decisiones mediante un enfoque integral, que considere los factores internos y externos al CPI relacionados con el problema bajo estudio.

IV. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN NUEVAS TECNOLOGÍAS

Como ya se ha mencionado, la propuesta metodológica motivo de este proyecto de investigación y que se describe en este capítulo, se diseñó con fundamento en los conceptos descritos en el capítulo 2, mediante el método presentado en el apartado 3.1, partiendo del modelo sistémico conceptual descrito en el apartado 3.2.

En este capítulo, en el apartado 4.1, se describe la propuesta metodológica y los elementos constitutivos del sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS). En el apartado 4.2 se propone un método para evaluar la entropía del DSS. Por otra parte, en el apartado 4.3 se presenta un esquema para instrumentar la propuesta metodológica mediante Tecnologías de Información (TIs), en un sistema de apoyo a la toma de decisiones en nuevas tecnologías, considerando la alineación de dicho sistema con la estrategia del CPI.

4.1 Propuesta metodológica para apoyar la toma de decisiones en nuevas tecnologías en un Centro Público de Investigación.²

Después de revisar los conceptos, herramientas y disciplinas relacionadas con la toma de decisiones en tecnologías, se aprecia la necesidad de abordar el proyecto mediante un

² Esta sección se preparó a partir del trabajo presentado por Martínez-Berumen y Escobar-Toledo (2011).

enfoque de sistemas, como una alternativa para analizar y gestionar la complejidad a través de la transdisciplinariedad, entendida ésta última como “la construcción metodológica y conceptual conjunta, derivada de una perspectiva común que rebasa las fronteras entre disciplinas y genera nuevo conocimiento y resultados emergentes de la investigación, que no habría surgido de la acción aislada de una disciplina” (Ruiz et al., 2010).

La metodología que se muestra en la figura 32, integra y propone la secuencia en que los elementos del modelo sistémico conceptual (figura 27), descritos en la sección 3.2, deben aplicarse para apoyar la toma de decisiones en nuevas tecnologías, en un Centro Público de Investigación, para analizar y resolver el problema descrito en la sección 1.2.

La propuesta metodológica que a continuación se expone, se divide en cuatro partes secuenciales, con un enfoque que va de lo general (identificación de los sectores prioritarios para el CPI) a lo particular (selección e implementación de las alternativas tecnológicas):

- 1.- Selección de sectores prioritarios.
- 2.- Selección de alternativas tecnológicas.
- 3.- Selección de esquema de participación o desarrollo.
- 4.- Implementación del (los) proyecto(s) seleccionado(s).

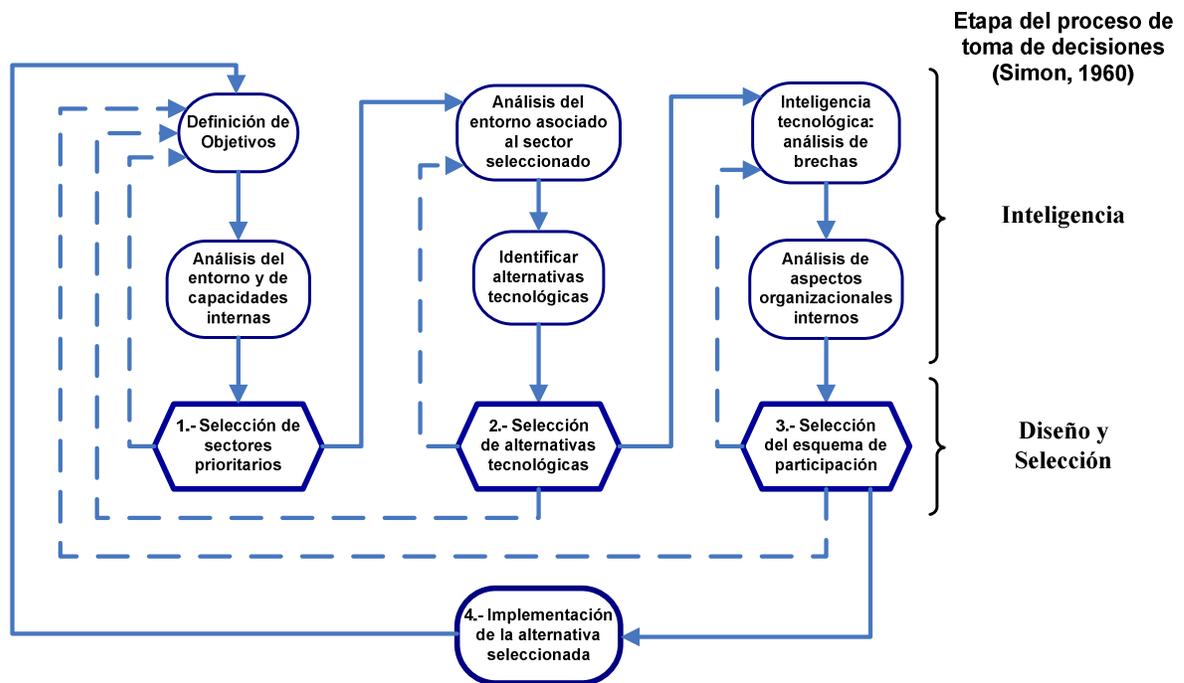


Figura 32. Propuesta Metodológica para apoyar la toma de decisiones en nuevas tecnologías. (elaboración propia)

Se propone realizar la selección en tres etapas, iniciando por la selección de los sectores prioritarios, a partir de la definición de objetivos y del análisis del entorno y de las capacidades internas, continuando con la selección de las alternativas tecnológicas, identificadas a partir del análisis del sector seleccionado. Finalmente, se procede a la selección del esquema de implementación, considerando el análisis de brechas de conocimiento y el análisis de los aspectos organizacionales internos. Después de las tres etapas de selección, las cuales se indican con un hexágono en la figura 32, se procede con la cuarta etapa, consistente en la implementación de la alternativa seleccionada.

Estas etapas se encuentran interconectadas y pueden ser ejecutadas de manera iterativa, dado que el procedimiento se desenvuelve de manera dinámica, con una alta

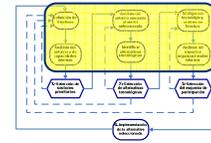
interrelación entre sus elementos. Es un enfoque adaptativo (Kunsch, 2001), en el sentido de que en cada etapa es posible regresar a una etapa anterior, cuando se requiera realizar mejoras en el modelado o revisar la estrategia. Estos retornos y ciclos de realimentación se indican con línea punteada en la figura 32, y son necesarios frecuentemente en el proceso de toma de decisiones (Diakoulaki, D. and Grafakos, S., 2004).

A continuación se describe a los elementos que integran la propuesta metodológica, de acuerdo a lo establecido en la etapa III (Determinación de variables y criterios por cada elemento del modelo sistémico) del método para construir el modelo sistémico-conceptual, expuesto en la sección 3.1 (figura 26).

Descripción de la Propuesta Metodológica.

En la propuesta metodológica se considera la aplicación recurrente de análisis de dinámica de sistemas y análisis multicriterio. A continuación se presenta una descripción de la secuencia propuesta para realizar dichas actividades. El resto de los métodos propuestos se describen en las secciones “Selección de sectores prioritarios” (4.1.1), “selección de alternativas tecnológicas” (4.1.2), “selección del esquema de participación del CPI” (4.1.3) e “implementación de las alternativas seleccionadas” (4.1.4), las cuales corresponden a las cuatro etapas principales representadas en la figura 32.

Secuencia para realizar el análisis de Dinámica de Sistemas



De acuerdo a Brans et al. (1998), la Dinámica de Sistemas es una herramienta útil para analizar escenarios, sobre los cuales es posible aplicar Métodos Multicriterio para apoyar la toma de decisiones.

Tomando como referencia los trabajos de Morecroft (2007), Williams y Harris (2005), Harris (2000), Flood y Jackson (1991), Vennix (1996) y Sharp (1977), la secuencia para realizar un análisis de Dinámica de Sistemas se compone de las siguientes actividades:

Determinar si el enfoque de Dinámica de Sistemas es útil para el problema. Como se ha mencionado, esta herramienta es útil cuando se desea analizar un sistema dinámico, que pueda ser descrito mediante la caracterización de flujos entre sus elementos (Sharp, 1977).

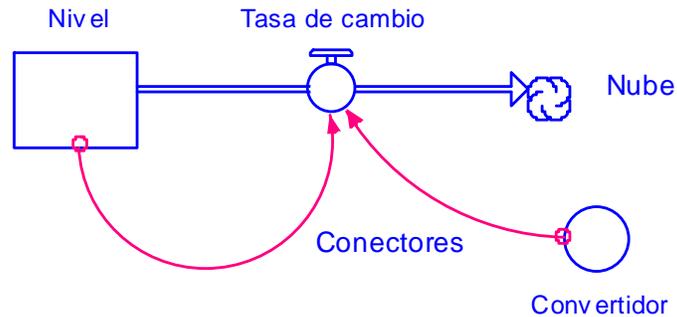
Acotación del problema y propósito del modelo. Se establece la función que se espera cubrir con el modelo de dinámica de sistemas. Se identifican las fronteras del sistema a modelar.

Conceptualización del sistema. Considerando las fronteras establecidas para el análisis del sistema, se desarrolla una hipótesis acerca de la causa del problema (Williams y Harris, 2005), a partir de la cual se establece la estructura general del sistema y se identifican los elementos asociados a los sistemas externos (que forman parte del

entorno) e internos (que constituyen o integran al sistema bajo estudio). Se identifica la relación entre elementos, mediante un diagrama de influencia o ciclos causa-efecto (Sharp, 1977), identificando los flujos y las relaciones positivas o negativas entre ellos, así como los ciclos de realimentación. Los diagramas de ciclos causales ofrecen una visión particular del sistema a modelar, mostrando las conexiones entre elementos y la manera como los cambios en una parte del sistema pueden propagarse a otras y retornar (Morecroft, 2007). En esta etapa, es importante contar con la participación de los interesados (*stakeholders*), con la finalidad de aumentar la relevancia del modelo a desarrollar. Asimismo, es importante declarar y documentar todos los supuestos que se consideran al conceptualizar el sistema (Flood y Jackson, 1991), con la finalidad de que puedan ser evaluados y, en su caso, modificados posteriormente.

Formulación del modelo y estimación de parámetros. Se procede a formular el modelo a partir de la conceptualización del mismo. En esta etapa, se inicia por definir una gráfica que muestra el comportamiento del problema en el tiempo (Harris, 2000). Esta gráfica se utiliza como referencia durante el modelado, con la finalidad de verificar que el modelo desarrollado sea capaz de recrear dicho comportamiento, ya que únicamente de esa manera será posible experimentar con soluciones. Es importante considerar que esta actividad es iterativa, ya que el modelo se perfecciona gradualmente. Para la identificación de los parámetros se recomienda referirse, en la medida de lo posible, a estudios previos respecto al tema en cuestión, y que se hayan documentado en la literatura formal de la disciplina respectiva (Flood y Jackson, 1991).

La figura 33 muestra los principales elementos de un modelo de dinámica de sistemas.



**Figura 33. Elementos de un modelo de Dinámica de Sistemas.
(Adaptado de Harris, 2000)**

A continuación se describe cada uno de los elementos:

- Los “**niveles**”, o también llamados “**stocks**”, contienen cantidades que describen el estado del sistema. Si el modelo (o sistema) se detuviera, cada uno de ellos mantendría una determinada cantidad, dependiendo del momento en que ocurriera la interrupción. Si el valor de un determinado “**stock**” no es relevante para el problema en cuestión, éste se muestra en forma de una “**nube**”, para indicar que dicho *stock* se encuentra fuera de las fronteras del modelo.
- Las **tasas de cambio** (también llamados **flujos**) son flujos de entrada desde y flujos de salida hacia varios **niveles** (**stocks**) del modelo. Se ilustran como válvulas que conectan **niveles** (**stocks**). Si el sistema se detuviera, los flujos también lo harían.

- Los **conectores** y **convertidores** (también llamados **auxiliares**) miden las cantidades en los **niveles** (*stocks*) y, mediante diversas funciones, controlan las **tasas de cambio**. Se muestran en el diagrama como líneas con flechas y como círculos. Las políticas de gestión (las reglas utilizadas para la toma de decisiones) se modelan mediante estas funciones.

Para desarrollar el modelo se inicia con el diseño de un diagrama de ciclos causales, en donde en primer lugar debe decidirse cuáles eventos son de interés para lograr una mejor comprensión de la estructura del sistema, con la finalidad de mostrar (probablemente de manera cualitativa únicamente) cuáles son los patrones de comportamiento de las variables de interés (Kirkwood, 1998) (ver sección 2.1 A “Dinámica de Sistemas” para una referencia acerca de los patrones de comportamiento).

Kirkwood (1998) hace referencia a una serie de recomendaciones de Richardson y Pugh (1981) y Kim (1992) para construir diagramas de ciclos causales:

1. Considerar a los elementos en un ciclo causal como variables que pueden aumentar o disminuir, aunque inicialmente no se puedan identificar escalas de medición para estas variables.
 - o Utilizar sustantivos para representar a los elementos, en lugar de verbos, ya que las acciones se representan por los vínculos (conectores) entre elementos.

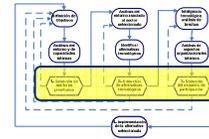
- Asegurar que la definición de un elemento aclara cuál es la dirección incremental de la variable (por ejemplo, sugieren utilizar “tolerancia contra el crimen” en lugar de “actitud hacia el crimen”)
 - Es preferible utilizar el nombre de un elemento en términos positivos (por ejemplo, utilizar “crecimiento” en lugar de “contracción”).
 - Considerar que los vínculos implican una dirección de las causas, no únicamente una secuencia.
2. Al construir los vínculos en el diagrama, considerar los posibles efectos inesperados que pudieran ocurrir además de las influencias que se están dibujando. Decidir cuáles vínculos deberían añadirse para representar dichos efectos.
 3. Es conveniente hacer explícita la “meta” que siguen los ciclos negativos de realimentación, así como la brecha que provoca que dicho ciclo tienda hacia dicha meta.
 4. Identificar y representar si existen diferencias entre los niveles reales y percibidos respecto a alguna variable, considerando que en ocasiones existe un retraso hasta que el nivel real es percibido.
 5. Diferenciar y hacer explícitas las consecuencias a corto y largo plazo de las acciones. Puede ser necesario representar dichas consecuencias en ciclos diferentes.
 6. Si algún vínculo del modelo requiere de mucha explicación, probablemente sea conveniente agregar elementos intermedios, con la finalidad de especificar con mayor claridad el proceso.

7. Mantener el diagrama tan simple como sea posible, considerando los puntos anteriores. Considerar que el propósito del modelo no es describir cada detalle del sistema y de los procesos que ocurren en él, sino mostrar aquellos aspectos de la estructura de realimentación que conducen al patrón de comportamiento observado.

Análisis del comportamiento del modelo. Esta actividad es parte del proceso iterativo del modelado. Conforme se desarrolla, se realizan pruebas para verificar la consistencia del modelo y su alineación con los objetivos establecidos, con la finalidad de asegurar que el modelo refleje el comportamiento del mundo real, o explorar el uso de modelos similares que ya hayan sido probados (Williams y Harris, 2005). En caso necesario, se rediseñan las políticas del sistema para obtener un mejor desempeño (Sharp, 1977).

Evaluación del modelo. Es recomendable desarrollar una metodología de validación del modelo, asegurando que dicha validación se realice de manera tanto empírica, como teórica y pragmática (Flood y Jackson, 1991).

Uso del modelo o implantación. El modelo validado puede ser utilizado para realizar escenarios y probar diferentes alternativas de solución (Harris, 2000). De acuerdo a Meadows (1980), un modelo de Dinámica de Sistemas puede contribuir en tres etapas de la toma de decisiones: Apreciación general del problema, Identificación de elementos clave e Implementación específica.



Secuencia para realizar el análisis multicriterio

Se propone seguir la siguiente secuencia en cada uno de los tres análisis multicriterio que se muestran con un hexágono en la figura 32. Un Análisis de Decisión Multicriterio consta de una serie de pasos secuenciales, los cuales típicamente se ejecutan con la participación activa de las partes interesadas (Diakoulaki, D. and Grafakos, S., 2004). A continuación se describen los pasos de los que consta el análisis multicriterio:

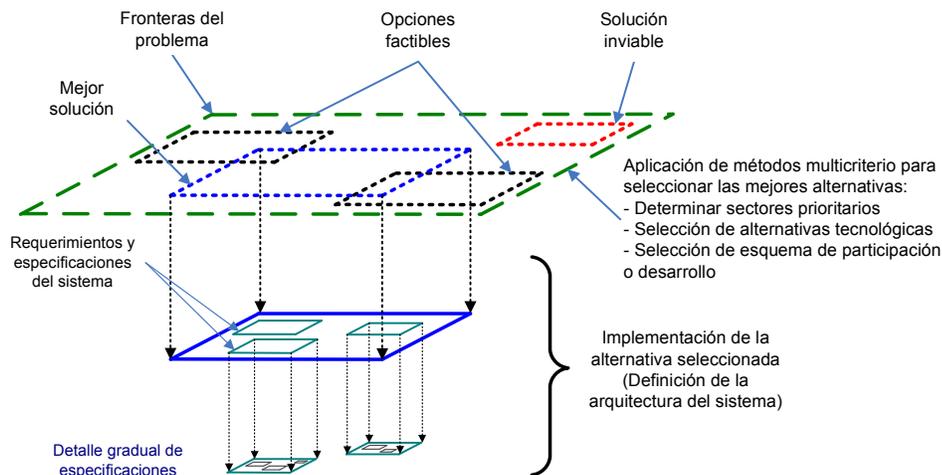
Identificación y Estructuración del problema. En la primera etapa del análisis multicriterio, se identifica el tema bajo consideración. De acuerdo a Escobar-Toledo (2009), en esta etapa deben identificarse claramente,:

1. El problema principal y el objetivo que se desea alcanzar,
2. Las submetas asociadas a la meta global. Si es relevante, deben identificarse los horizontes de tiempo que afectan a la decisión.
3. Los actores involucrados, así como sus metas y políticas.

La información anterior es necesaria para “acordar el enfoque y el alcance del análisis, y reconocer restricciones externas, provenientes del entorno físico o legislativo, así como del tiempo y los recursos disponibles” (Diakoulaki, D. and Grafakos, S., 2004). En este punto, el involucramiento de todas las partes interesadas, incluyendo agencias gubernamentales, cuando aplique, es esencial, con la finalidad de describir formalmente el problema, considerando a sus diferentes elementos y aspectos. Es necesario enfatizar la importancia de promover la

participación de expertos en el establecimiento de las metas del estudio, para asegurar su pertinencia y adecuación.

Definición de alternativas. Una vez que se han establecido las metas del estudio, se identifican las alternativas relacionadas. En este punto, el involucramiento de expertos también es importante, para asegurar la selección de alternativas adecuadas, de acuerdo al contexto del problema. La integración de alternativas creativas es importante; sin embargo, es recomendable mantener únicamente aquellas que se consideren más factibles, con la finalidad de simplificar el análisis. La figura 34 ilustra la manera en la que el análisis multicriterio se utiliza para identificar la solución óptima a partir de las alternativas definidas. Una vez que se ha identificado la solución óptima, se procede a la implementación de la alternativa específica.



**Figura 34. Aplicación de análisis multicriterio y desarrollo de la arquitectura del sistema.
(elaboración propia)**

Definición de criterios. Los criterios describen las variables a considerar en el proceso de decisión, según lo establecido de acuerdo al problema específico. Para el caso presentado en este trabajo, se consideran criterios bajo los siguientes temas:

- Aspectos tecnológicos.
- Temas relacionados con la eficiencia y desempeño del CPI.
- Aspectos económicos.
- Aspectos ambientales.
- Aspectos sociales.
- Temas relacionados con políticas nacionales.

En la literatura se proponen algunas alternativas para apoyar en la identificación de criterios de manera sistemática. Uno de dichos métodos es la lista CAUSE (Criterios, Alternativas, Incertidumbre (*Uncertainty*), *Stakeholders*, Entorno) (Belton y Stewart, 2002). En general, los criterios específicos se determinan de acuerdo a un análisis que debe considerar la estrategia de la organización y la situación específica bajo estudio.

El objetivo en esta etapa es construir una matriz que relacione los criterios con las alternativas, tal como se muestra en la tabla 4, la cual presenta los datos básicos de un análisis multicriterio:

Tabla 4: Tabla de evaluación multicriterio donde a, a_1-a_n representan opciones y $g_1(a_1)-g_k(a_n)$ la evaluación del criterio g_1 sobre la opción a_1 , hasta el g_k sobre la opción a_n .

Fuente: Brans y Mareschal, 2002

a	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	---	$g_j(\cdot)$	---	$g_k(\cdot)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	---	$g_j(a_1)$	---	$g_k(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	---	$g_j(a_2)$	---	$g_k(a_2)$
a_3	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	---	$g_j(a_i)$	---	$g_k(a_i)$
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	---	$g_j(a_n)$	---	$g_k(a_n)$

Bajo la notación donde $a_i= i$ -ésima opción y $g_j=$ evaluación del criterio j , entonces $g_j(a_i)$ representa la evaluación del criterio j sobre la i -ésima opción.

A partir de la información de la tabla 4, se definen las unidades de medición, el peso y función de preferencia para cada criterio.

Identificación y estructuración de la incertidumbre. El reconocimiento de la incertidumbre es otro elemento crucial de los problemas de análisis multicriterio (Diakoulaki, D. and Grafakos, S., 2004). En esta etapa, se identifica el nivel de incertidumbre, y -de ser necesario- es incorporado al procedimiento analítico a seguir. Las incertidumbres pueden ser internas (relacionadas a los juicios y valores del tomador de decisiones) y externas (relacionadas al conocimiento imperfecto respecto a los cursos de acción) (Stewart, T. J., 2005). La principal fuente de incertidumbre externa se debe al limitado conocimiento acerca de los parámetros clave de desempeño de las alternativas consideradas. Según lo señalan Diakoulaki, D. y Grafakos, S. (2004), “este tipo de incertidumbre puede ser controlada

construyendo escenarios para varios valores posibles de dichos parámetros inciertos, así como mediante el uso de probabilidades en el tratamiento de eventos estocásticos”. La incertidumbre interna puede abordarse mediante un análisis de sensibilidad. Una manera de hacerlo es variando la importancia de cada uno de los criterios. Este tipo de análisis puede realizarse mediante el software DECISION LAB®.

Modelado de preferencias. Se modelan las preferencias de las partes interesadas, de acuerdo al contexto específico. Se consideran las preferencias intra-criterio (definidas de acuerdo a los diferentes niveles de desempeño) y las preferencias inter-criterio (importancia relativa de cada criterio) (Diakoulaki, D. and Grafakos, S., 2004). El software DECISION LAB ® (Brans y Mareschal, 1994) permite el modelado de funciones de preferencia para cada criterio, definiendo un rango que va desde la indiferencia hasta la preferencia absoluta. La función de preferencia puede seleccionarse a partir de seis opciones predeterminadas (Común, Perfil en U, Perfil en V, Nivel, Lineal o Gaussiana), las cuales pueden ser fácilmente manipuladas por el usuario. Esta es una característica útil, considerando que el modelado de preferencias es una tarea iterativa, y frecuentemente, complicada. En particular, el modelado de preferencias intra-criterio implica definir el rango que va desde un conjunto de valores que suponen la indiferencia en la función de preferencia, hasta el valor a partir del cual la preferencia es absoluta.

Las seis funciones de preferencia del software DECISION LAB se muestran en la Tabla 5. En cada caso necesitan ser definidos 1, 2 o 3 parámetros, cuyo significado se enuncia a continuación:

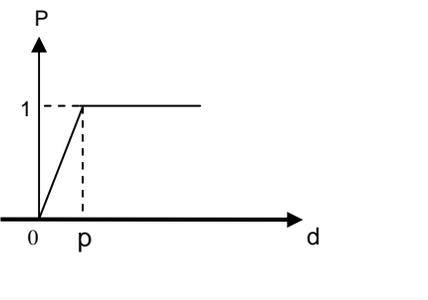
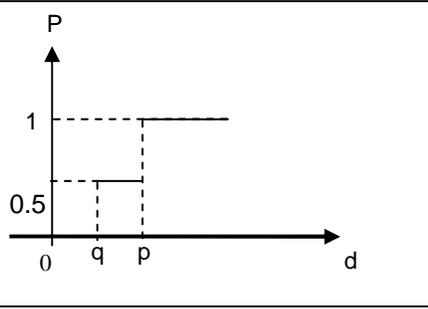
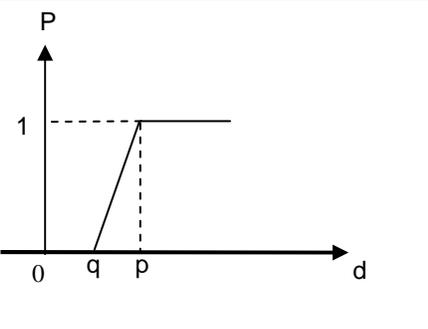
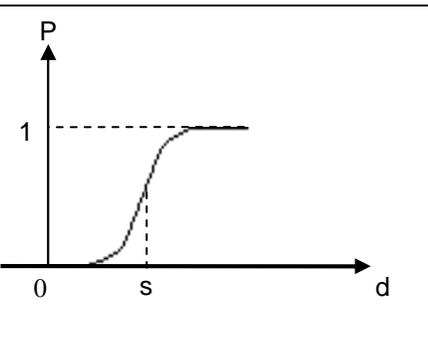
q es el límite de la indiferencia; es decir, es la desviación más grande que se considera insignificante por el tomador de decisiones.

p es el límite estricto de la preferencia; es decir, es la desviación más pequeña que es considerada como suficiente para generar una preferencia amplia.

s es un valor intermedio entre p y q; éste define el punto de inflexión de la función de preferencia. Se recomienda determinar primero q y p, para después obtener s como un valor intermedio entre estos parámetros.

**Tabla 5: Funciones de preferencia, P, para el criterio j a través de $d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b)$.
Fuente: Brans y Mareschal, 2002**

Tipo de función	Forma de función	Definición	Parámetros necesarios
1		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	--
2		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q

3		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
4		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > q \end{cases}$	p, q
5		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
6		$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

Para una descripción más detallada de las funciones de preferencia, se recomienda consultar: Brans y Mareschal (2005).

Cuando la tabla de evaluación (Tabla 4) se haya construido, y los pesos w_j y los criterios generalizados $\{g_j(\cdot), P_j(a, b)\}$ estén definidos para $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,k$, el procedimiento PROMÉTHÉE puede ser aplicado.

Ejecución del Análisis Multicriterio. Este paso combina las evaluaciones de las alternativas con la información de las preferencias, para llegar a una solución final, la cual es un flujo de preferencia (Φ) para cada alternativa, tomando en cuenta todos los criterios de evaluación. La figura 35 muestra un ejemplo del tablero de datos del software DECISION LAB® en un trabajo realizado por Escobar y Martínez (2009), en donde se describe un caso, del cual se toman ciertos elementos para ejemplificar el uso de DECISION LAB®. En esta figura, las cuatro columnas de la derecha (Imports subst, Exports, Investment/barrel, CO2 Emitted) representan los criterios, para cada uno de los cuales se define su peso y función de preferencia. En este ejemplo, los tres renglones al pie de la imagen (New Refinery, GTL, Ethanol) muestran las alternativas y su desempeño en cada criterio.

	Imports subst	Exports	Investment/barrel	CO2 Emitted
Min/Max	Maximize	Maximize	Minimize	Minimize
Weight	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Preference Functi	V-Shape	V-Shape	V-Shape	V-Shape
Indifference Thres	-	-	-	-
Preference Thres	0.2200	0.1125	10265.9300	426.0000
Gaussian Threshk	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Unit				
New Refinery	0.5419	1.1230	16666.6667	530.0000
GTL	0.3145	1.2422	22265.9372	560.0000
Ethanol	0.4145	1.1297	12000.0000	104.0000

Figura 35. Tablero de datos del software DECISION LAB®.
(ejemplo tomado de Escobar-Toledo y Martínez-Berumen (2009) para fines demostrativos)

A partir de dicha información se determinan las relaciones de dominancia entre las alternativas, identificando las relaciones de preferencia, indiferencia e incomparabilidad. El propósito de todos los métodos multicriterio es el de reducir el número de incomparabilidades (R). Una manera de lograr esto es construyendo relaciones de rangos, ya sea de superioridad o de inferioridad. En algunos casos no todas las incomparabilidades son eliminadas, pero la información es fidedigna.

La figura 36 muestra las relaciones de dominancia, donde g_j , g_k , g_s , g_r son las evaluaciones de los criterios j , k , s y r , a y b representan opciones a evaluar y P , I y R indican preferencia, indiferencia e incomparabilidad, respectivamente.

$$\begin{cases} g_j(a) \geq g_j(b) \\ g_k(a) > g_k(b) \\ g_j(a) = g_j(b) \end{cases} \Leftrightarrow aPb$$

$$g_j(a) = g_j(b) \Leftrightarrow aIb$$

$$\begin{cases} g_s(a) > g_s(b) \\ g_r(a) < g_r(b) \end{cases} \Leftrightarrow aRb$$

Figura 36. Relaciones de dominancia: preferencia, indiferencia e incomparabilidad.

Fuente: Brans y Mareschal, 2002

La estructura de preferencias de PROMÉTHÉE está basada en comparaciones de pares de opciones evaluadas en los criterios. Se considera la desviación entre las evaluaciones de dos alternativas. Para desviaciones pequeñas, el tomador de decisiones asignará una preferencia pequeña para la mejor opción e incluso puede

considerar que no hay preferencia alguna si él considera que la desviación es insignificante.

PROMÉTHÉE considera que las preferencias son números reales que varían entre 0 y 1. Esto significa que para cada criterio el tomador de decisiones tiene en mente una función del tipo:

$$P_j(a,b) = F_j[d_j(a,b)] \quad (1)$$

donde

$$d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (2)$$

y, para la cual:

$$0 \leq P_j(a,b) \leq 1 \quad (3)$$

En el caso de que el criterio deba ser maximizado, esta función daría la preferencia de a sobre b, debido a las desviaciones observadas entre sus evaluaciones sobre el criterio $g_j(\cdot)$. Esta función debe tener la forma que muestra la Figura 37, en donde $d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b)$ y $P_j(a,b)$ representa la función de preferencia entre los criterios a y b.

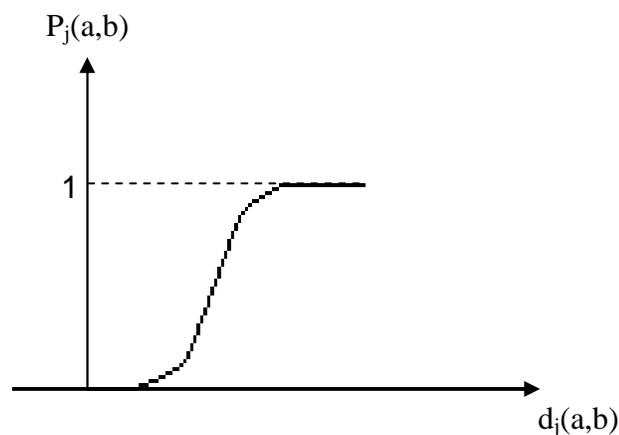


Figura 37. Función de preferencia entre los criterios a y b.

Fuente: Brans y Mareschal, 2002.

Las preferencias son iguales a cero cuando las desviaciones son negativas. Cuando los criterios deben ser minimizados, la función de preferencia debe invertirse:

$$P_j(a,b) = F_j[-d_j(a,b)] \quad (4)$$

Ordenamiento I y II de PROMÉTHÉE. Para explicar la clasificación I y II de PROMÉTHÉE es necesario definir dos conceptos: índices de preferencia agregados y flujos de categoría superior.

$$\begin{cases} \pi(a,b) = \sum_{j=1}^k P_j(a,b)w_j \\ \pi(b,a) = \sum_{j=1}^k P_j(b,a)w_j \end{cases} \quad (5)$$

$\pi(a,b)$ expresa con qué grado a es preferente que b sobre todos los criterios y $\pi(b,a)$ expresa cómo b es preferente con respecto al criterio a. En muchos de los casos hay criterios en los cuales a es mejor que b y también hay criterios para los cuales b es mejor que a; por consiguiente, $\pi(a,b)$ y $\pi(b,a)$ son usualmente positivos.

Cuando $\pi(a,b)$ es prácticamente igual a 0 implica una frágil preferencia global de a sobre b y cuando $\pi(a,b)$ es prácticamente igual a 1 implica una fuerte preferencia global de a sobre b.

Una vez que $\pi(a,b)$ y $\pi(b,a)$ son calculados para cada par de opciones de A (A =conjunto de opciones) puede construirse una gráfica donde se representan los índices de preferencias agregadas de cada criterio. Esta representación es mostrada en la figura 38.

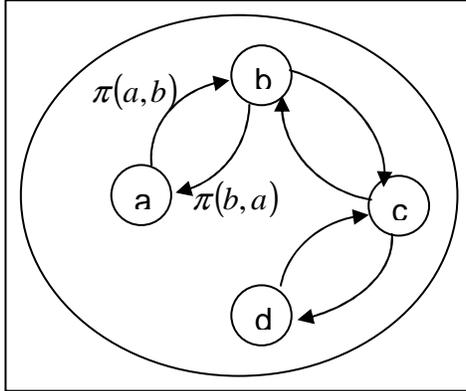


Figura 38. Gráfico de índices de preferencias agregadas donde a, b, c y d son opciones, $\pi(a,b)$ indica la preferencia de a sobre b y $\pi(b,a)$ indica la preferencia de b sobre a.

Fuente: Brans y Mareschal, 2002.

Cada opción a es comparada contra (n-1) otras opciones del conjunto de opciones A, de donde se definen los dos siguientes flujos de categoría:

Flujo de categoría positivo:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (6)$$

Flujo de categoría negativo:

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (7)$$

Donde x son todas las opciones diferentes de a. Estos flujos se esquematizan como se muestra en la figura 39.

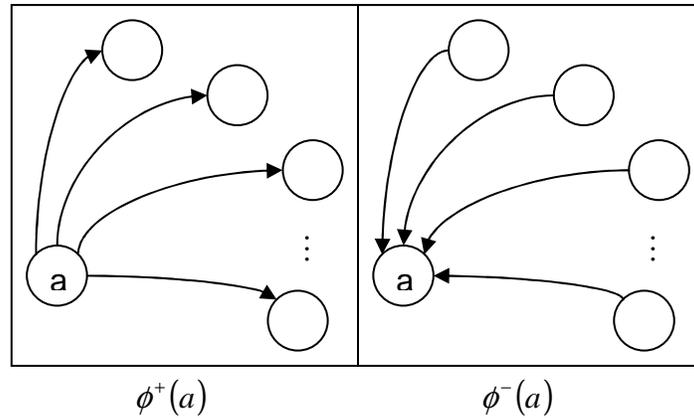


Figura 39. Flujos de categorías de PROMÉTHÉE donde a es una opción, $\Phi^+(a)$ es el flujo de categoría dominante y $\Phi^-(a)$ es el flujo de categoría inferior.

Fuente: Brans y Mareschal, 2002.

$\phi^+(a)$ expresa cómo una opción a es de categoría superior que todas las demás opciones. Éste es su poder, su carácter dominante.

$\phi^-(a)$ expresa cómo una opción a es de categoría inferior que todas las demás opciones. Ésta es su debilidad, su carácter de inferioridad. La Figura 40 muestra las relaciones de dominancia derivadas de estos flujos de categoría.

$$\left\{ \begin{array}{l} aP^1b \\ aI^1b \\ aR^1b \end{array} \right. \text{ si } \left\{ \begin{array}{l} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ó} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ ó} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ ó} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ y } \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{array} \right.$$

y

Figura 40. Relaciones de PROMÉTHÉE I (I) donde a y b son opciones, $\Phi^+(a)$ es el flujo de categoría dominante, $\Phi^-(a)$ es el flujo de categoría inferior, P^1 , I^1 y R^1 indican preferencia, indiferencia e incomparabilidad, respectivamente.

Fuente: Brans y Mareschal, 2002.

Cuando se tiene $aP^I b$, hay un alto poder o dominancia de “a” con respecto a “b”. La información de ambos flujos de categoría es consistente y puede, por lo tanto, ser considerada indiscutible.

Cuando se tiene $aI^I b$, ambos flujos, positivo y negativo, son iguales.

Cuando se tiene $aR^I b$ la opción “a” es buena en algunos criterios donde “b” es débil, y de manera inversa “b” es bueno en algunos otros criterios donde “a” es débil. En tales casos la información que ambos flujos proveen no es consistente. PROMÉTHÉE I es prudente y no decide cuál opción es mejor en tales casos. El tomador de decisiones debe asumir esta responsabilidad.

Por su parte, PROMÉTHÉE II realiza una clasificación completa (P^{II}, I^{II}). El flujo neto de dominancia puede ser considerado como:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (8)$$

Éste es el balance entre los flujos de dominancia positivo y negativo:

$$\begin{cases} aP^{II} b & \text{si } \phi(a) > \phi(b) \\ aI^{II} b & \text{si } \phi(a) = \phi(b) \end{cases} \quad (9)$$

Cuando PROMÉTHÉE II es considerado, todas las opciones son comparables, pero la información obtenida puede ser más discutible, debido a que mucha información se pierde por considerar la diferencia de la ecuación 8.

Interpretación de los resultados y conclusiones. Una vez que se obtienen los resultados, éstos son probados para verificar si la solución obtenida es satisfactoria. Mediante el software DECISION LAB® es posible representar gráficamente los resultados, permitiendo la variación de los parámetros de la decisión para comparar los resultados bajo diferentes condiciones. Las figuras 41 y 42 muestran dos gráficos que presentan los resultados del análisis multicriterio mediante el método Promethee. La figura 41 representa los flujos netos de preferencia (Φ) (PROMÉTHÉE II) para cada alternativa.

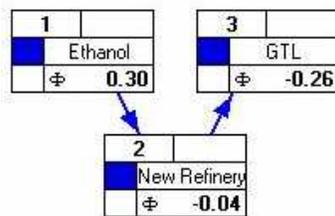


Figura 41. Ordenamiento completo de resultados. Φ = Flujos netos de preferencia. (ejemplo tomado de Escobar-Toledo y Martínez-Berumen (2009) para fines demostrativos)

El plano GAIA (figura 42) da una mejor explicación de este resultado. En esta figura, los triángulos representan las diferentes alternativas. Los criterios se representan mediante cuadrados. El círculo (π) representa la función de preferencia, que integra los criterios y el peso asignado a cada uno de ellos. El desempeño de cada alternativa contra los criterios y la función de preferencia se obtiene creando una línea perpendicular desde cada alternativa hacia la línea extendida de cada criterio o función de preferencia. Es posible mostrar dinámicamente el cambio de preferencia, variando el peso relativo de cada criterio, lo cual es útil para refinar el resultado del proceso de decisión.

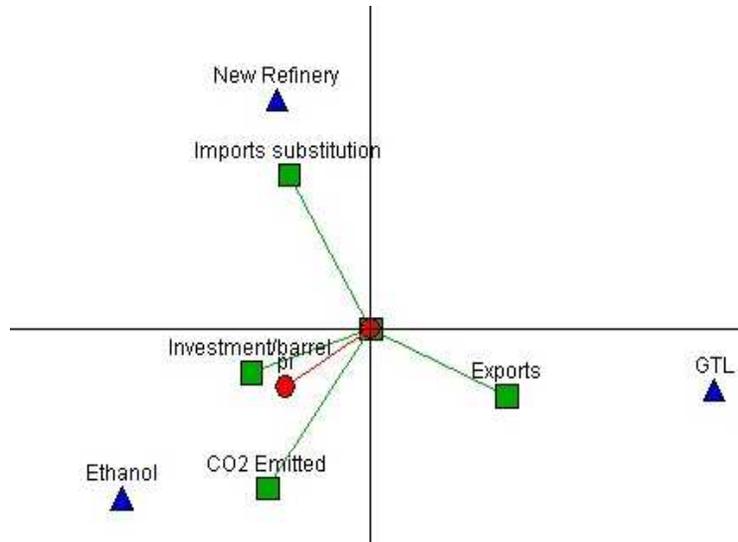


Figura 42. Plano GAIA.

(ejemplo tomado de Escobar-Toledo y Martínez-Berumen (2009) para fines demostrativos)

En el ejemplo mostrado en la figura 42, la alternativa “Ethanol” domina en dos criterios (“CO2 emitted” e “investment per unit”), y se encuentra en la misma dirección que “pi”, que es la función de preferencia. Mientras tanto, la alternativa “GTL” domina en un criterio (Exports). La alternativa “New Refinery” domina en el criterio “Imports Substitution”. Por lo tanto, “Ethanol” sería la mejor alternativa, de acuerdo a este análisis. Nota: para mayor referencia acerca de este ejemplo, puede consultarse el trabajo de Escobar-Toledo y Martínez-Berumen (2009).

Cuando hay múltiples partes interesadas (stakeholders), pueden presentarse desacuerdos acerca de la solución propuesta, en cuyo caso es necesario establecer una discusión y un proceso de negociación estructurados (Diakoulaki, D. y Grafakos, S., 2004), (generalmente apoyados por técnicas informáticas específicas, como las mencionadas anteriormente, disponibles mediante el software DECISION LAB®), para revisar los parámetros considerados. Este proceso permite la revisión

de algunos elementos estructurales y aspectos de preferencia, hasta lograr una solución comúnmente aceptada. El método PROMETHEE permite realizar un sinnúmero de parametrizaciones sobre las condiciones de las alternativas y los criterios; incluso proporciona rangos entre los cuales la ponderación de los criterios puede variar sin que la mejor solución se vea comprometida. Esta funcionalidad facilita la realización del proceso de revisión de los parámetros con los *stakeholders*.

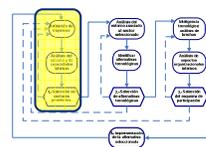
Etapas de la Propuesta Metodológica.

En las secciones 4.1.1 a 4.1.4 se describen las cuatro etapas principales que constituyen la propuesta metodológica para apoyar la toma de decisiones en tecnologías en un CPI, mostrada en la figura 42. En dicha descripción se indican las variables que se propone integrar en el análisis de dinámica de sistemas, así como los criterios a integrar en el análisis multicriterio, de acuerdo a lo indicado en la etapa III del Método para construcción y cuantificación del modelo sistémico-conceptual (Figura 26).

Es importante notar que en este trabajo no se pretende dar una descripción exhaustiva de las herramientas mencionadas en las siguientes secciones, sino describir las funciones que deben llevarse a cabo y proponer un marco de referencia mediante el cual puedan ser integradas para apoyar los procesos de toma de decisiones en tecnologías en CPIs. Lo anterior, debido a que el sistema de apoyo a la toma de decisiones “será más adaptable si no es considerada como la “mejor solución”, y es capaz de adecuarse de acuerdo a su desempeño y a los requerimientos cambiantes” (Gershenson, 2007).

En la descripción de la propuesta metodológica que se presenta en las secciones 4.1.1 a 4.1.3, se identifican las etapas del proceso de toma de decisiones definidas por Simon (1960) y descritas en la sección 2.1 D. "Toma de decisiones y Métodos Multicriterio". Algunas de las actividades de la propuesta metodológica se identifican con una clave (por ejemplo, la actividad "Inteligencia de mercados" se identifica con la clave [InMerc]). Estas claves se utilizarán con la finalidad de identificar a cada actividad en secciones posteriores de este trabajo.

4.1.1.- Selección de sectores prioritarios.



La primera etapa se refiere a la identificación de los sectores prioritarios para el CPI. La figura 43 muestra las actividades específicas consideradas en esta etapa.

Es importante señalar que esta etapa puede realizarse con una frecuencia menor que las etapas de "Selección de alternativas tecnológicas" y "Selección de esquema de participación o desarrollo", dado que la dinámica de los aspectos relacionados con la toma de decisiones, indicados a la derecha de la figura 43, se refiere a ciclos más largos.

Etapa del proceso de toma de decisiones (Simon, 1960)

Actividad

Dinámica de los aspectos relacionados con la toma de decisiones (adaptado de Fine, 1998)
(los círculos representan la amplitud de un movimiento pendular)

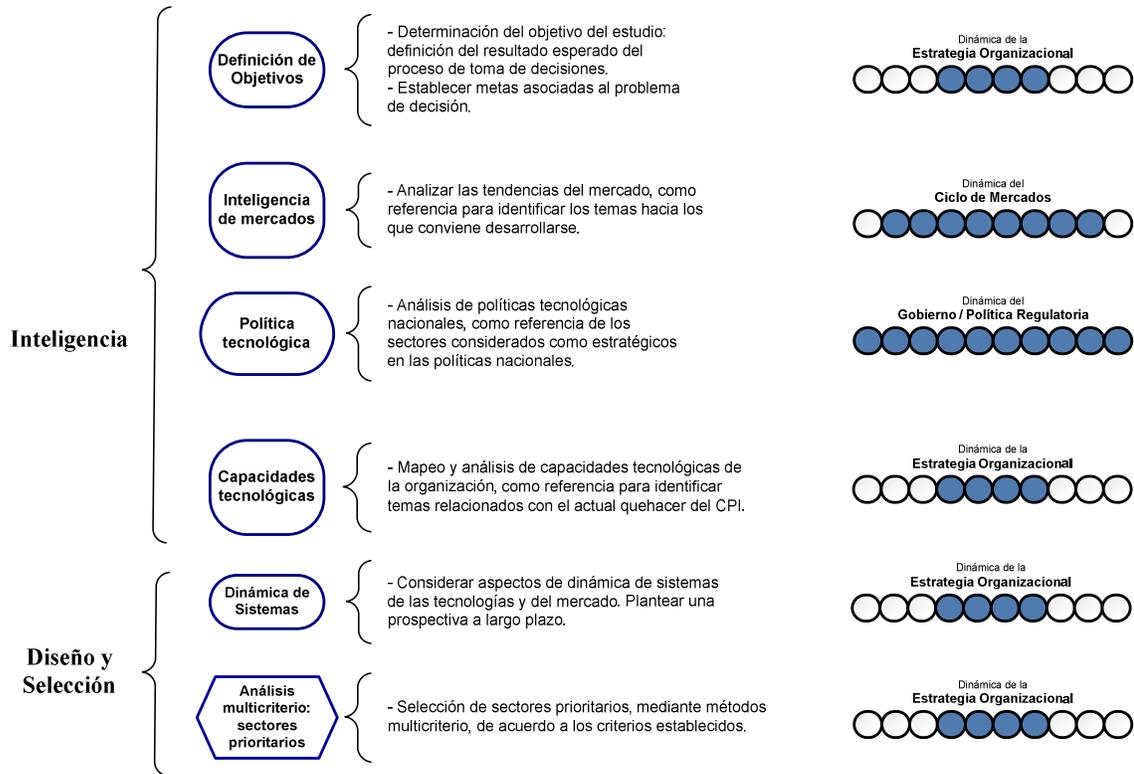


Figura 43. Propuesta metodológica: Selección de sectores prioritarios. (elaboración propia)

A continuación se describe cada una de las actividades consideradas en esta etapa:

Definición de objetivos.

La primera actividad de la metodología consiste en establecer los objetivos para todo el proceso. Es importante notar que uno de los principales objetivos es que el CPI transite desde las actividades de menor valor tecnológico, a otras de mayor valor (ver la figura 6), mediante la explotación del conocimiento y las habilidades adquiridas por el Centro de I+D.

En términos generales, la definición de objetivos podría iniciar cuando el CPI se encuentra ante una oportunidad o proyecto para incrementar las fortalezas tecnológicas relacionadas a los mercados en los cuales tiene presencia, o cuando internamente se presenta una idea u oportunidad de desarrollo.

El tener una definición clara de las metas esperadas facilita la identificación precisa de los elementos y las variables que deben considerarse en las siguientes etapas del análisis. Este punto es de suma relevancia, dado que debe recordarse que la percepción es la primer etapa de un proceso cognitivo (Heylighen, 1990). La percepción consiste básicamente en la distinción de las características del ambiente que son relevantes respecto al sistema previamente establecido, lo cual significa que la percepción es un filtro de la información disponible, de tal manera que únicamente los elementos importantes son mantenidos y considerados. Es por ello que es sumamente relevante que en la etapa inicial se determinen claramente los objetivos y fronteras del sistema.

Inteligencia de mercados [InMerc].

De acuerdo a Michael Porter, el diseño de la estrategia de una organización debe partir de un conocimiento avanzado y profundo de las fuerzas del mercado (Porter, 1985). Para ello es necesario recopilar y analizar información sobre el entorno de la organización, como medida imprescindible para el desarrollo de estrategias exitosas.

Se ha mencionado que la competitividad de un CPI depende de la habilidad de éste para impactar en el mercado de tecnologías. La presente etapa de la propuesta metodológica se refiere a mantener un flujo sistemático de información, con la finalidad de conocer en forma más profunda el mercado (tanto a los clientes como a los competidores) y el desempeño del CPI dentro de éste. El desarrollo de esta actividad implica el uso de soluciones de software, y requiere un intenso trabajo de análisis de datos, con la finalidad de identificar oportunidades, de acuerdo a indicadores específicos acerca del desarrollo del mercado. Dichos indicadores se alimentan de información que proviene de diversas fuentes, tales como las actividades de comercialización, la mercadotecnia o la base de datos de relaciones con el cliente (CRM, por sus siglas en inglés), entre otros.

Para un CPI, una investigación relacionada a inteligencia de mercados tiene la finalidad de acotar los riesgos relacionados a una decisión tecnológica. Algunas fuentes de información relacionadas a dicha investigación pueden ser costosas, ya que son más especializadas y se refieren a estudios de la competencia, bases de datos del mercado, e incluso visitas de campo para incrementar el conocimiento acerca de las necesidades de los clientes actuales o probables.

Entre la información a recabar en esta etapa se encuentra la siguiente:

Efectividad y productividad de los sectores analizados. Implica la obtención de información relacionada al desempeño, dinamismo y perspectivas a futuro de los sectores considerados. En este sentido pueden utilizarse como referencia estudios externos locales, regionales, nacionales e internacionales al respecto.

Beneficios financieros previstos en el sector. En forma de pronósticos relacionados al volumen del mercado meta en el sector. Los beneficios financieros esperados responden a un pronóstico, el cual en la práctica depende de una cantidad de factores no controlables por el CPI, por lo que es recomendable construir diversos escenarios para este criterio.

Importancia estratégica de los desarrollos científicos, tecnológicos y de innovación en cada sector analizado para el CPI. Consiste en evaluar la importancia estratégica que cada sector representa para el CPI, de acuerdo a sus líneas estratégicas de desarrollo. Para garantizar la calidad de los resultados, es fundamental que dicho estudio se realice con la participación de los principales interesados en la decisión

Política tecnológica [PolTec].

Como parte del análisis de los factores externos al CPI, es necesario identificar y analizar las políticas tecnológicas nacionales (incluyendo las emanadas del CONACYT, para el caso de los CPIs mexicanos) relacionadas al objetivo del estudio, dado que, como se mencionó anteriormente, la competitividad del CPI depende en gran medida de éstas últimas (ver figura 30 “Factores de la competitividad en el Centro I+D”), por lo que también deben ser tomadas en cuenta para la identificación de sectores prioritarios.

A continuación se describe la información que se propone considerar respecto a esta etapa:

Evaluación de la importancia estratégica de cada sector, de acuerdo al análisis de la política tecnológica nacional e internacional. Análisis de la importancia estratégica de cada sector, de acuerdo a lo establecido en las políticas nacionales e internacionales (cuando apliquen éstas últimas).

Evaluación de los beneficios asociados al sector específico. Evaluación de los beneficios asociados a los incentivos establecidos por las políticas relacionadas al sector.

Riesgo económico, ambiental y social relacionado a los sectores analizados. Implica la estimación de los riesgos asociados a las restricciones determinadas por las políticas nacionales, así como las internacionales, cuando apliquen.

Capacidades tecnológicas [CapTec].

En esta etapa se evalúan las capacidades tecnológicas del CPI, y se comparan con las requeridas por cada sector analizado. En la literatura existe una amplia diversidad de herramientas y métodos para identificar y evaluar las capacidades tecnológicas. Como se mencionó anteriormente, no se pretende brindar una descripción detallada de cada una de ellas, por lo que a continuación se mencionan las más conocidas:

- La matriz del Boston Consulting Group (1982),

- El árbol tecnológico (Giget, 1984),
- La matriz de riesgo tecnológico (Arthur D. Little, 1981),
- La matriz atractivo tecnológico/posición tecnológica, derivada de la matriz McKinsey (Escorsa y Puerta, 1991) para evaluar productos científicos.

Independientemente de la herramienta que se utilice, el punto crítico a considerar radica en verificar la alineación estratégico-tecnológica entre las capacidades internas y el sector considerado.

Entre la información relevante en esta etapa se encuentra la siguiente:

Valor agregado para las líneas actuales de investigación del CPI, en cada uno de los sectores. Evaluación de los beneficios que, desde una perspectiva tecnológica, tendría el incursionar en cada uno de los sectores considerados.

Factibilidad (probabilidad de éxito tecnológico en cada sector considerado).

Evaluación de la probabilidad que el CPI tiene de lograr un éxito tecnológico en el sector evaluado. Respecto a esta información se presenta un nivel de incertidumbre alto, considerando que la información a utilizar para el estudio se origina a partir de pronósticos.

Interdisciplinariedad. Número de disciplinas del CPI que interactuarían para atender las demandas del sector evaluado. Como se ha mencionado anteriormente, la

interdisciplinaria es una característica necesaria para el quehacer de un CPI, considerando su impacto para la innovación y el desarrollo de tecnologías.

Inversión en tecnologías por sector evaluado. Monto de los recursos necesarios para adquirir tecnologías necesarias por cada sector evaluado.

Dinámica de sistemas [DinSist].

Con la información recabada en esta etapa, se desarrolla un análisis de dinámica de sistemas de los aspectos externos al CPI, de acuerdo a la secuencia descrita en el apartado 4.1. Dicho modelo es utilizado para incrementar el nivel de conocimiento acerca del comportamiento, y sobre todo de la interacción de los factores considerados en esta etapa de la propuesta metodológica. A partir del análisis del comportamiento de este modelo, pueden identificarse interacciones o factores no considerados previamente, y que puedan significar un riesgo (o una oportunidad) relacionada a la toma de decisiones.

La figura 44 muestra la conceptualización del modelo de Dinámica de Sistemas asociado a la toma de decisiones en nuevas tecnologías. Este modelo se construyó a partir del modelo sistémico-conceptual mostrado en la figura 27. La línea punteada enfatiza los elementos externos al CPI que se presentan en la figura 43.

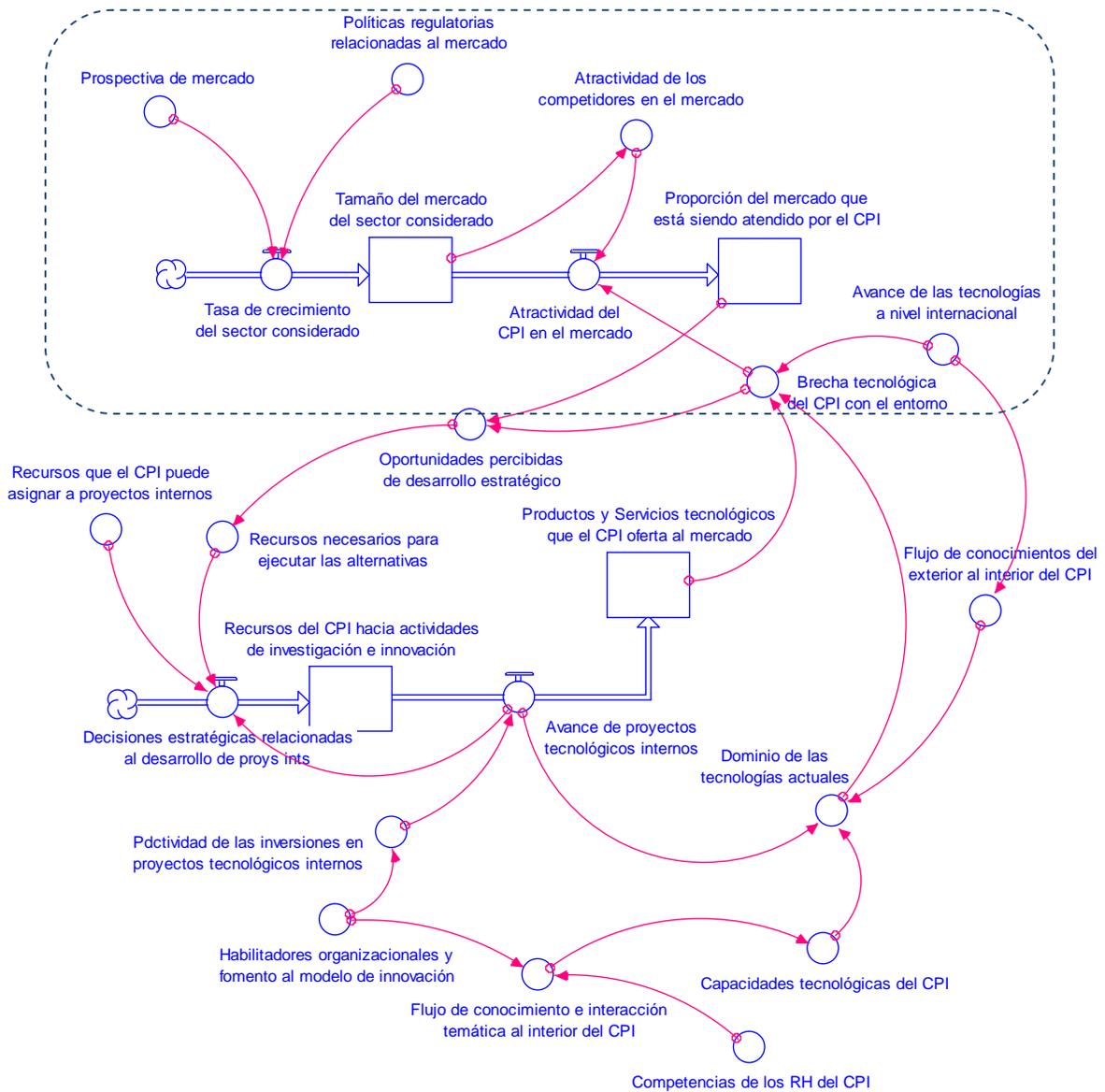


Figura 44. Modelo de Dinámica de Sistemas: elementos externos al CPI.
(elaboración propia)

Selección de sectores mediante métodos multicriterio [MCDA].

Tomando como referencia los criterios señalados para cada una de las actividades, se ejecuta el análisis multicriterio, de acuerdo a la secuencia descrita en el apartado 4.1, con la finalidad de identificar los sectores prioritarios para el CPI.

4.1.2.- Selección de alternativas tecnológicas.



La segunda etapa de la propuesta metodológica se refiere a la identificación y selección de las alternativas tecnológicas que podrían ser abordadas por el CPI en el (o los) sectores identificados. Al contrario que la etapa anterior, en esta etapa debe considerarse que la dinámica de los aspectos relacionados con la toma de decisiones, indicados a la derecha de la figura 45, implica ciclos más cortos, por lo que debe revisarse continuamente.

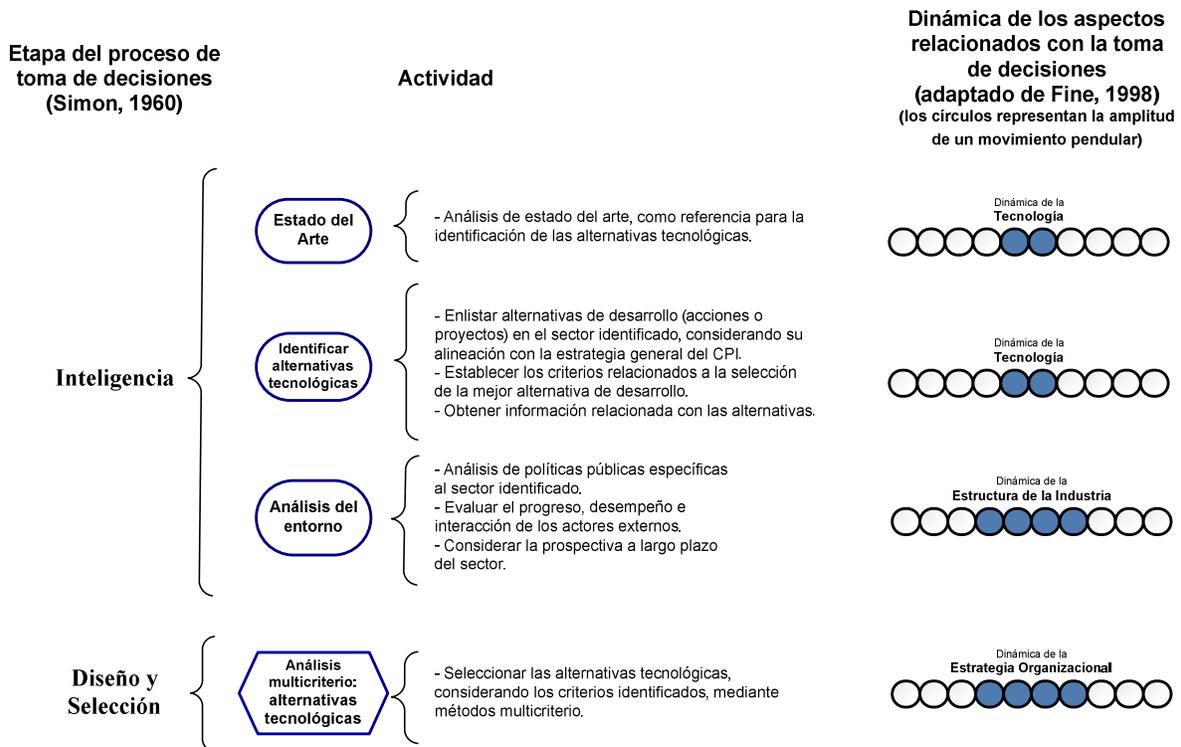


Figura 45. Propuesta metodológica: Selección de alternativas tecnológicas. (elaboración propia)

A continuación se describe cada una de las actividades consideradas en esta etapa:

Estado del Arte [EsArt].

La identificación de alternativas tecnológicas parte del análisis detallado del estado del arte de las tecnologías actualmente disponibles en el sector respectivo. El término "estado del arte" se refiere al máximo nivel de desarrollo respecto en un tema o campo del conocimiento concreto, en un tiempo determinado. La información obtenida en esta etapa tiene como objetivo identificar la situación del CPI respecto al estado del arte a nivel internacional. Es importante considerar que en la identificación del estado del arte es necesario contar con personal especializado en la materia, además de que se requiere un sondeo constante del entorno tecnológico, dado que la dinámica de la tecnología se mueve en ciclos relativamente cortos, tal como se representa en la figura 45.

Brecha entre el estado del arte internacional y las capacidades del CPI. Esta información puede generarse mediante un estudio interno realizado por especialistas en el campo de conocimiento respectivo.

Factibilidad de desarrollo en el campo de conocimiento. A partir del análisis de brechas es posible evaluar la factibilidad de desarrollo en el campo de conocimiento respectivo.

Identificar alternativas tecnológicas [IA Tec].

Tomando en cuenta la información generada hasta el momento, es posible que un grupo de expertos identifique las alternativas tecnológicas que se consideraría factible desarrollar en los entornos seleccionados. En este punto, es importante analizar tantas alternativas como sea posible, promoviendo la generación de opciones creativas.

Asimismo, es importante asegurar que las alternativas identificadas se alinean con el rumbo estratégico y las capacidades del CPI. Una de las mejores maneras de identificar dichas alternativas es considerar los temas en los cuales el CPI opera actualmente (ver figura 6), dado que, como se ha mencionado, el objetivo es encontrar alternativas de desarrollo hacia actividades de mayor valor tecnológico.

En esta etapa, es necesario contar con la identificación y descripción de los supuestos relacionados a las acciones consideradas, tomando en cuenta aspectos tales como:

- Políticas públicas relacionadas con el desarrollo o uso de recursos o de materias primas, así como con la aplicación de opciones tecnológicas identificadas previamente.
- Cambios tecnológicos relacionados con cada alternativa. Por ejemplo: el desarrollo de nuevos métodos de producción de combustible requeriría un cambio en los vehículos, para adaptarlos al nuevo tipo de combustible.
- Evolución esperada de las políticas públicas económicas y tecnológicas relacionadas a cada alternativa.

Adicionalmente, como parte de la descripción de las alternativas tecnológicas podrían utilizarse métricas tales como el Factor Total de Productividad (TFP) (Bean, Alden S., 1995) (Escobar-Toledo C.E., López-García, B., 2005), el cual evalúa los resultados obtenidos a partir de las inversiones realizadas en I+D. En esta etapa, podrían generarse pronósticos respecto al TFP esperado por cada alternativa.

Análisis del entorno [AnEnt].

A partir de los sectores prioritarios para el CPI, se analiza a mayor detalle el entorno de cada sector específico, considerando el conjunto de alternativas identificadas en el paso anterior. Entre la información a analizar se encuentran las políticas públicas específicas al sector identificado, el progreso, desempeño e interacción de los actores externos en cada sector, así como la prospectiva a largo plazo del sector analizado.

Existen diversos aspectos que pueden considerarse como parte del análisis del entorno.

Entre la información útil a considerar se encuentra la siguiente:

- Participación de los gobiernos nacionales e internacionales para el desarrollo de alternativas en el sector específico.
- Crecimiento esperado del sector en el mediano y largo plazo (demanda esperada).
- Información acerca de la demanda de cada sector analizado, y cambios esperados a futuro.
- Evolución prevista de los precios en el sector.
- Participación de mercado actual y esperada de las alternativas tecnológicas.
- Desempeño de los participantes en cada alternativa.
- Actores emergentes y nuevos actores previstos.
- Efectos ambientales de cada alternativa tecnológica.
- Comparación de eficiencia de las alternativas consideradas.

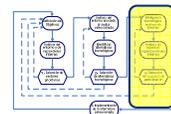
- Cambios previstos respecto a materias primas y suministros necesarios para cada alternativa.

Para el desarrollo de esta actividad, es útil considerar información generada por agencias u organismos nacionales e internacionales. Por ejemplo, en el sector energético, el reporte “World Energy Outlook” publicado por el IEA (2011) podría ser utilizado como referencia.

Selección de alternativas tecnológicas [MCDA].

La información descrita anteriormente es integrada en un nuevo análisis multicriterio, con la finalidad de seleccionar la (o las) alternativas específicas de desarrollo.

4.1.3.- Selección de esquema de participación o desarrollo.



La tercera etapa de la propuesta metodológica se refiere a la selección del esquema específico mediante el cual el CPI abordará la alternativa seleccionada en la etapa anterior. Como puede observarse en la figura 46, esta decisión se relaciona principalmente con la dinámica de la tecnología y la dinámica de la propia organización, por lo que las variables que controlan a esta etapa se refieren a estos aspectos.

Etapa del proceso de toma de decisiones (Simon, 1960)

Actividad

Dinámica de los aspectos relacionados con la toma de decisiones (adaptado de Fine, 1998)
(los círculos representan la amplitud de un movimiento pendular)

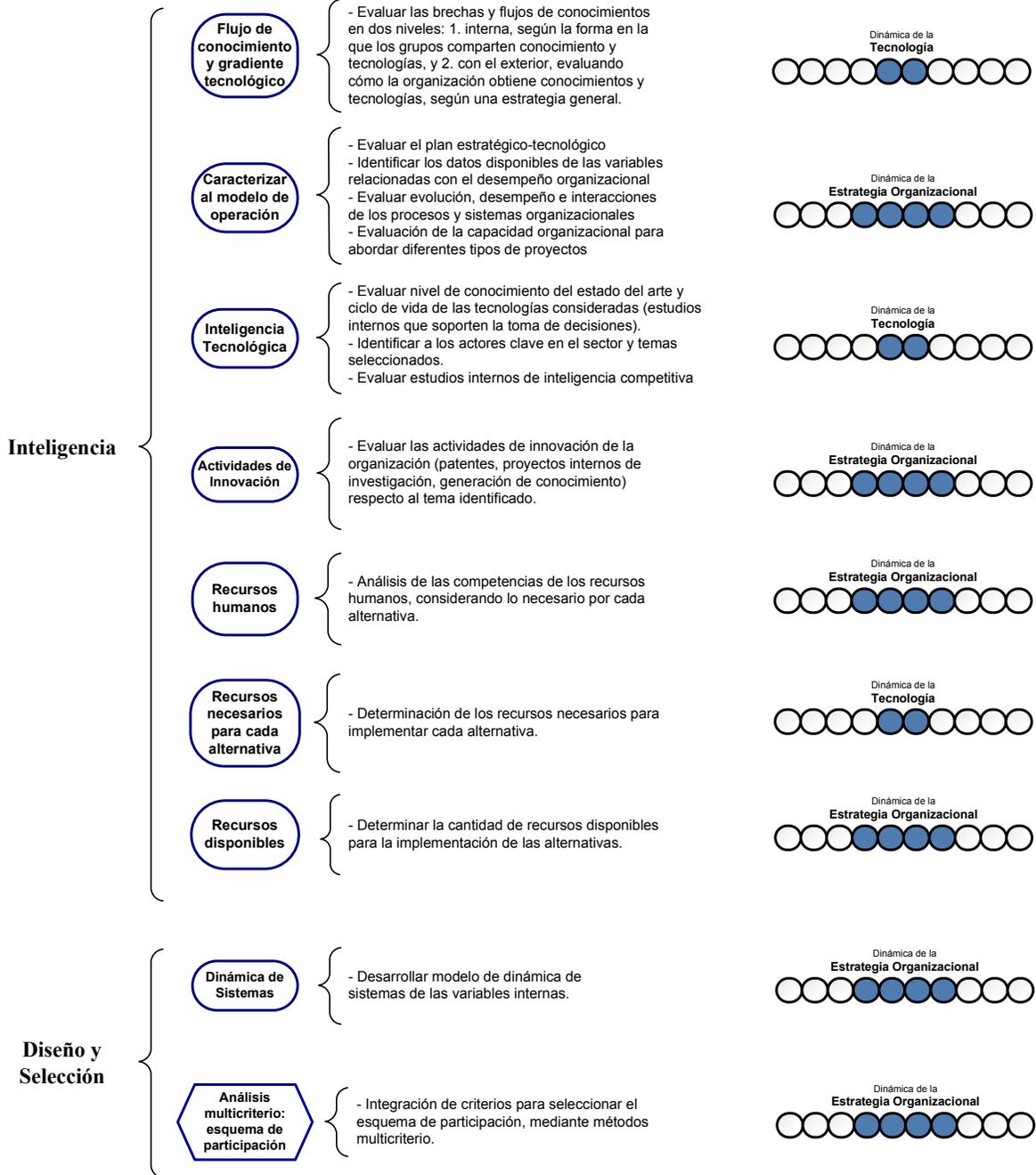


Figura 46. Propuesta metodológica: Selección de esquema de participación o desarrollo. (elaboración propia)

Flujo de conocimiento y gradiente tecnológico [FluCo].

La gestión del conocimiento es un tema sobre el cual se investiga extensamente en la actualidad, dada su relación con la creación de valor en las organizaciones. El estudio de este tema es vital para una organización, ya que, de acuerdo a Hausmann, Hidalgo et al., (2011) “Las sociedades pueden amasar grandes cantidades de conocimiento productivo, distribuido entre sus miembros. Para ser utilizado, este conocimiento debe ser integrado a través de organizaciones y mercados. La especialización individual fomenta la diversidad a nivel nacional y global. Sin embargo, las sociedades más prósperas son “más sabias”, no porque sus integrantes sean individualmente brillantes, sino porque dichas sociedades poseen una amplia diversidad de “know-how” y son capaces de recombinarlo para crear una amplia variedad de productos mejores y más inteligentes”.

En esta etapa de la propuesta metodológica se plantea evaluar la manera como el CPI comparte información tanto al interior como con el exterior, con la finalidad de determinar el gradiente tecnológico (Sumanth y Sumanth, 1996), el cual se define como la distancia que existe entre dos agentes en cuestiones tecnológicas (para el caso de este proyecto: el Centro de I+D y su entorno tecnológico). En el caso específico de la toma de decisiones en nuevas tecnologías, dicho gradiente debe ser suficientemente alto para hacer interesante la incursión y representar un incremento real de la competitividad del CPI, pero no tan elevado que implique una restricción de entrada a la tecnología o campo de conocimiento en cuestión. En ese sentido, la información obtenida en esta etapa de la propuesta metodológica contribuye a afinar la toma de decisiones.

El modelo de flujo de conocimiento propuesto por Nonaka y Takeuchi (1995) es una de las principales referencias al respecto, a partir de la cual se han desarrollado una diversidad de modelos y propuestas tendientes a describir y potenciar estas actividades en las organizaciones. A continuación se enumeran algunos enfoques adicionales:

- Kamhawi (2010) construye sobre el mencionado modelo de Nonaka y Takeuchi, y propone la evaluación de los flujos de conocimiento de acuerdo a una estructura de tres etapas (almacenamiento, creación y aplicación), considerando los flujos de conocimiento en tres niveles: individual, grupal y organizacional. Asimismo, propone evaluar los flujos de conocimiento mediante una encuesta entre los miembros de la organización, con la finalidad de cuantificar el desempeño de los flujos de información en las dimensiones intra- e inter-organizacional.
- Lai y Liu (2009) proponen evaluar el flujo de conocimiento individual a partir de la identificación de los objetos de conocimiento integrados en los registros de dicho individuo, es decir: evalúa el flujo de conocimiento de manera retrospectiva. Posteriormente, dicha evaluación es utilizada para “recomendar” objetos de conocimiento al individuo, considerando la afinidad y relevancia con su trabajo pasado. Este enfoque se empleó posteriormente para evaluar los flujos de conocimiento entre grupos u organizaciones (Liu y Lai, 2011), mediante la evaluación de flujos en las redes de conocimiento, como una manera de promover la cooperación, reutilización y compartición de conocimiento entre grupos de individuos.

- Guan y Chen (2012) proponen evaluar los flujos de conocimiento mediante un análisis de redes de los patrones de colaboración entre diferentes países, a partir del análisis de patentes otorgadas a nivel internacional.
- Casas et al., (2007) proponen la evaluación de los flujos de conocimiento a través del análisis de las interacciones entre los principales involucrados en un tema determinado. Los autores proponen realizar dicha evaluación mediante la aplicación de encuestas con la finalidad de evaluar la cantidad y calidad de los flujos de conocimiento entre empresas, universidades, centros de investigación e instituciones de gobierno.

Independientemente del esquema que se decida adoptar para evaluar los flujos de conocimiento, se propone integrar la siguiente información para la toma de decisiones:

Flujo de conocimiento actual entre los miembros del CPI. Se refiere a los flujos internos de conocimiento entre las áreas y miembros del CPI, considerando los proyectos que se realizan con participación de dos o más áreas.

Flujo de conocimiento actual entre el CPI y otros organismos externos. Implica evaluar el flujo de conocimiento entre el CPI y otras organizaciones científicas y tecnológicas, mediante el análisis de los proyectos realizados en conjunto, y el conocimiento compartido en cada caso.

Caracterizar al modelo de operación [ModOp].

Como se ha mencionado en secciones anteriores, uno de los objetivos del Modelo de Operación orientado a Sistemas que se describió en el capítulo 2, es posibilitar el diálogo preciso acerca de las propiedades ideales de los sistemas organizacionales que constituyen a un CPI, y poder especificarlo en términos claros y evaluarlo cuantitativamente, con la finalidad de fomentar la sinergia organizacional. El objetivo de esta etapa consiste en evaluar la aptitud del Modelo de Operación del CPI para abordar proyectos de desarrollo en las temáticas identificadas en la etapa anterior de la propuesta metodológica. Para ello, se requiere conocer si el modelo de operación del CPI cuenta con las siguientes características:

- Robustez. Definida como la habilidad de un sistema organizacional para mantener sus principales parámetros en niveles predeterminados, a pesar del impacto de fuerzas internas y externas, satisfaciendo diversas expectativas sobre el sistema, sin necesidad de cambiar su estructura principal. Implica analizar si el modelo de operación permite abordar proyectos diferentes a los que actualmente realiza el CPI, considerando la participación con otras organizaciones, sin tener que modificar el modelo actual.
- Adaptabilidad. Habilidad del sistema organizacional para modificar el conjunto actual de parámetros de especificación o su forma -y posiblemente su función- mediante un nivel aceptable de inversión de recursos.

- Escalabilidad. Habilidad del sistema para cambiar el nivel actual de un parámetro de especificación del sistema. Implica la capacidad del modelo de operación para soportar la ejecución de proyectos de una magnitud considerablemente mayor a los actualmente realizados.

Entre las herramientas que se podrían aplicar con esta finalidad se mencionan las siguientes:

- El CMMI (Capability Maturity Model Integration) (Chrissis, et al., 2009) es un modelo de madurez de mejora de los procesos para el desarrollo de productos y de servicios en todas sus etapas, desde la concepción a la entrega y el mantenimiento. El CMMI plantea evaluar la capacidad de los procesos organizacionales considerando seis niveles de capacidad: 0. Incompleto, 1. Realizado, 2. Gestionado, 3. Definido, 4. Gestionado cuantitativamente y 5. En optimización. Asimismo, existen cinco niveles de madurez, siendo cada uno de ellos una etapa en la mejora de procesos en curso: 1. Inicial, 2. Gestionado, 3. Definido, 4. Gestionado cuantitativamente, 5. En optimización. El CMMI considera la aplicación de evaluaciones para determinar el nivel de capacidad y madurez de los procesos de una organización.
- En un enfoque semejante al anterior, el Marco de Evaluación de la Arquitectura Organizacional (Enterprise Architecture Assessment Framework) (Office of Management and Budget, 2009) es un esquema creado por el gobierno federal de los E.U.A., mediante el cual las agencias federales pueden evaluar y reportar la madurez y actividad de sus arquitecturas organizacionales, promoviendo la

mejora del desempeño mediante la información y el uso de Tecnologías de Información (TIs).

- En México, el gobierno federal ha implementado programas tales como el INTRAGOB (Presidencia de la República, 2005) y, más recientemente, el PMG (Programa de Mejora de la Gestión) (Secretaría de la Función Pública, 2012). Éste último como un instrumento del Ejecutivo Federal de carácter obligatorio, que se enfoca a realizar mejoras que orienten sistemáticamente la gestión de las instituciones públicas y del Gobierno Federal al logro de mejores resultados, mediante la orientación a tres objetivos primordiales: 1.- Maximizar la calidad de los bienes y servicios que presta la Administración Pública Federal, 2.- Incrementar la efectividad de las instituciones y 3.- Minimizar los costos de operación y administración de las dependencias y entidades.

Al evaluar el modelo de operación mediante alguno de los esquemas mencionados, sería posible determinar si el CPI posee el marco estructural que de soporte a este tipo de iniciativas, evitando el riesgo de que la organización colapse al implementarlas.

Inteligencia Tecnológica [InTec].

En esta etapa se propone la ejecución de un estudio de inteligencia tecnológica, considerando a los principales actores involucrados, considerando el resultado de los estudios del estado del arte, con la finalidad de identificar el ciclo de vida de las

alternativas identificadas. Esta información se integra con el análisis de las capacidades tecnológicas del centro de I+D.

El resultado del estudio de inteligencia tecnológica se presenta en un mapa tecnológico, el cual refleja el enfoque de otros actores, con base en un análisis de citación de patentes.

Un mapa tecnológico es útil para identificar la estrategia y la posición tecnológica de los actores involucrados en un determinado campo del conocimiento. Existen diversos tipos de mapas tecnológicos. Se propone utilizar la representación basada en citación de patentes. Las citas se dividen en dos tipos principales: auto-citas y citas por otros. Una vez que el número de citas ha sido determinado, se pueden crear índices para determinar la extensión y grado de auto-copia y copia de desarrollos realizados por otros. Los resultados se grafican para localizar a un grupo de organizaciones de acuerdo a su estrategia tecnológica, clasificados como pioneros, protectores, maestro e imitador (ver la figura 47). La representación se divide en cuatro áreas, utilizando el valor de la mediana para determinar las líneas de separación (Mogee, 1998).

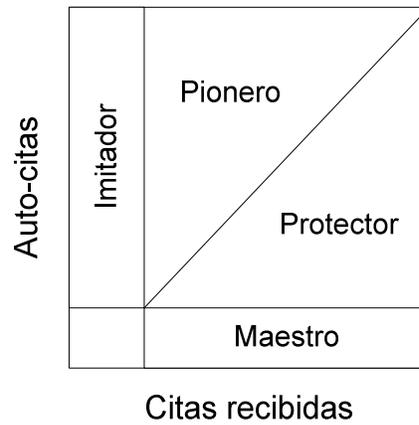


Figura 47. Clasificación de tecnólogos con base en el número de auto-citas y citas recibidas. (adaptado de Moguee, 1998)

La figura 48 muestra un ejemplo ilustrativo, para el caso de la tecnología de un proceso petroquímico.

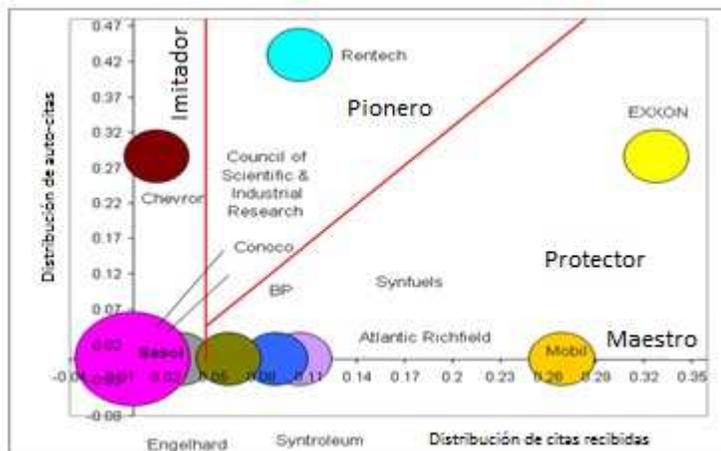


Figura 48. Ejemplo de un mapa tecnológico de un proceso petroquímico. (ejemplo para fines demostrativos, adaptado de Escobar-Toledo y Martínez-Berumen, 2009)

En el ejemplo mostrado en la figura 48, Exxon tiene una posición dominante respecto a la tecnología considerada.

Actividades de Innovación [ActIn].

En esta etapa se analizan las actividades de innovación que el CPI ha desarrollado en el campo de conocimiento o temática considerada. La tabla 6 resume algunos indicadores que pueden ser considerados con esta finalidad.

**Tabla 6. Indicadores relacionados a innovación
(adaptado de Kuczmarski, 1996)**

Indicador	Descripción	Indicador	Descripción
Tasa de supervivencia	# de nuevos productos comercializados con permanencia en el mercado / número total de nuevos productos comercializados	Proporción de Ventas de Innovación	ingresos totales del tercer año de los nuevos productos comercializados / total de ingresos anuales
Tasa de éxito	# de nuevos productos que excedan su pronóstico de ingreso de 3 años / número total de nuevos productos comercializados	Composición de Cartera de Innovación	porcentaje de nuevos productos (número e ingresos) comercializados por tipo, donde el tipo incluye mejoras incrementales de productos, extensiones de línea de productos, productos nuevos en el mercado, nuevos conceptos de negocio, etc.
Efectividad de Innovación de I + D	Beneficios brutos de 3 años resultado de la comercialización de nuevos productos / el gasto de 3 años de I + D para nuevos productos	Ingresos de Innovación por empleado	total de los ingresos anuales de 3 años generados por la comercialización de nuevos productos / total de empleados, de tiempo completo, dedicados a las iniciativas de innovación
% de ventas de productos propios			

Recursos Humanos [ReHum].

El recurso humano es el principal activo de cualquier organización, en especial de las organizaciones tecnológicas tales como un CPI. En esta etapa se realiza la evaluación de

las competencias actuales del personal, comparándolas con las competencias requeridas para abordar la alternativa seleccionada.

Existen en la literatura especializada una diversidad de referencias acerca de diferentes modelos para la Gestión de los Recursos Humanos. Rigaud Téllez (2009) propone un esquema conceptual para abordar esta actividad mediante un enfoque de sistemas, por lo que podría utilizarse como referencia para estructurar las funciones relacionadas con la identificación de las necesidades de formación y desarrollo de los recursos humanos del CPI, así como la asignación de responsabilidades relacionadas a los proyectos específicos, en alineación con la estrategia general de la organización.

Entre la información a analizar se encuentra la siguiente:

- Entrenamiento o capacitación necesarios para abordar cada alternativa tecnológica.
- Necesidades de contratación de personal para abordar cada alternativa.
- Incremento o desarrollo de las capacidades técnicas o científicas del grupo de investigación.

Recursos necesarios para cada alternativa [ReNec].

A continuación se recaba la información respecto a los recursos requeridos para cada una de las alternativas. Entre la información que es útil considerar se encuentra:

- Precio a pagar por las licencias (cuando se requiera).
- Costo de producción.
- Disponibilidad de proveedores de las materias primas o suministros necesarios.

Recursos disponibles.

Asimismo, se integra la información respecto a los recursos con los que el CPI dispone para abordar las diferentes alternativas. Como se ha mencionado, el objetivo consiste en maximizar los resultados obtenidos a partir de la inversión realizada, por lo que la información de los recursos disponibles constituye un elemento crucial para la toma de decisiones.

Dinámica de Sistemas [DinSist].

Con la información recabada en esta etapa, se desarrolla un nuevo análisis de dinámica de sistemas. En esta ocasión se analizan los aspectos internos del CPI, de acuerdo a la secuencia descrita en el apartado 4.1., con la finalidad de incrementar el nivel de conocimiento acerca del comportamiento e interacción de los factores considerados en esta etapa de la propuesta metodológica.

La figura 49 muestra la conceptualización del modelo de Dinámica de Sistemas asociado a la toma de decisiones en nuevas tecnologías. Como se ha mencionado, este modelo se construyó a partir del modelo sistémico-conceptual mostrado en la figura 27. La línea punteada enfatiza los elementos internos al CPI que se presentan en la figura 46.

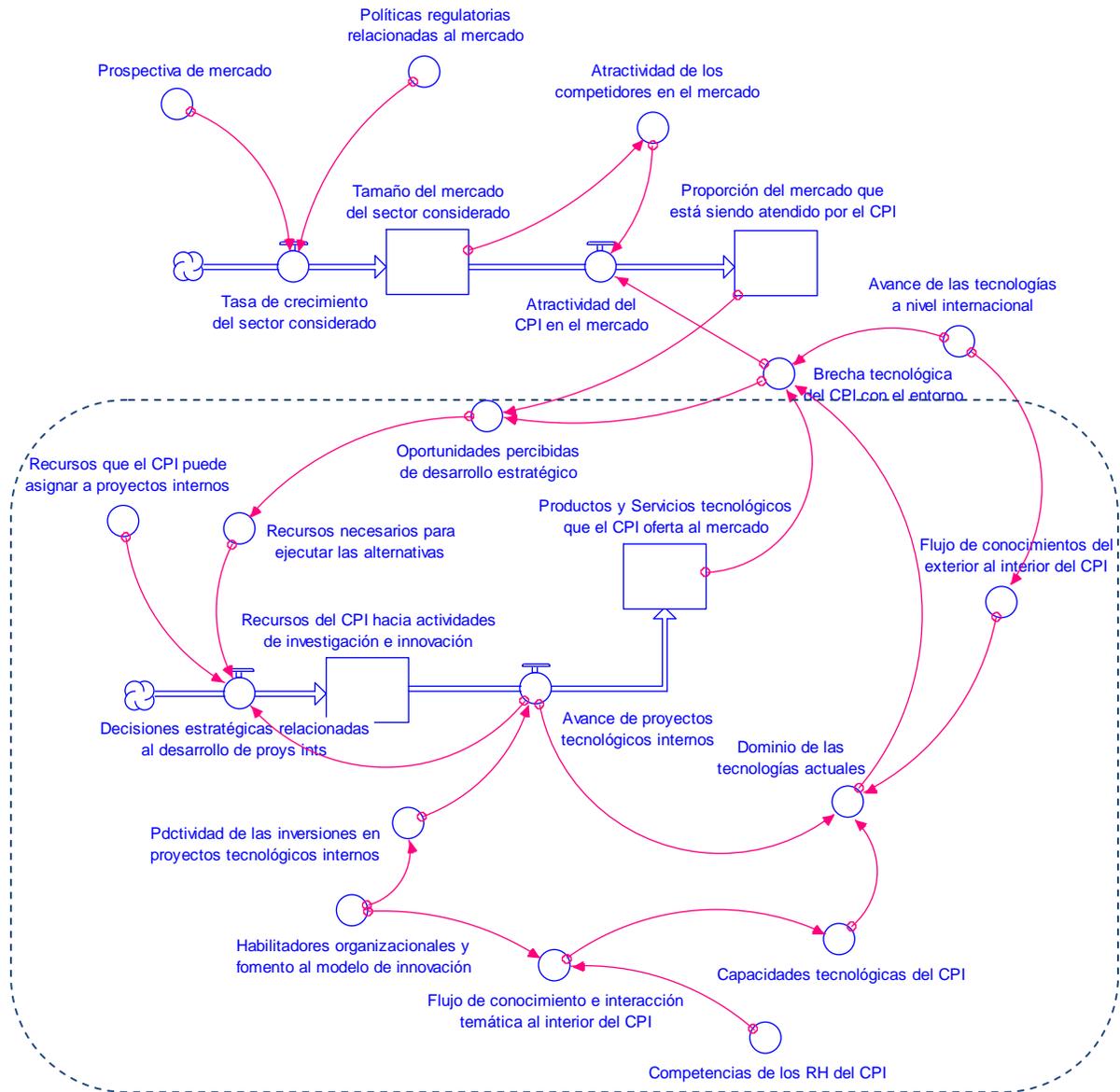


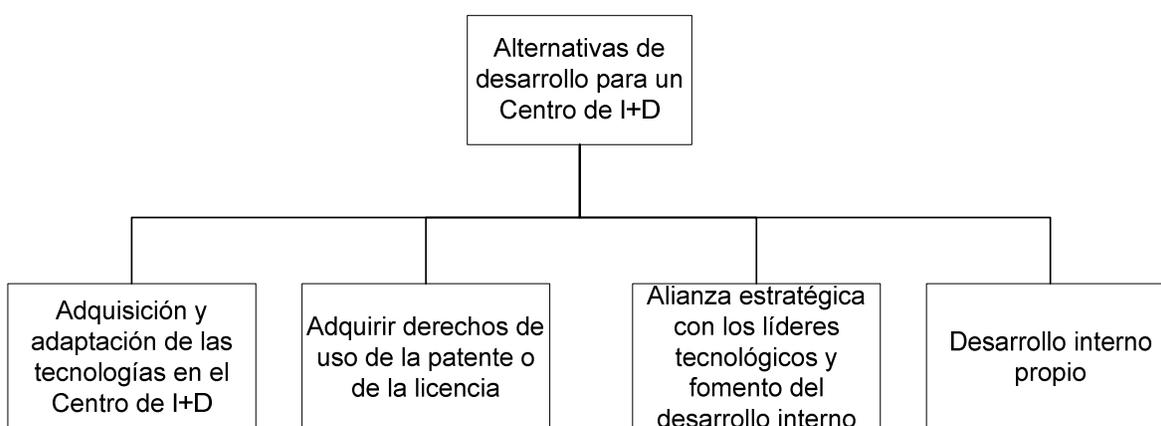
Figura 49. Modelo de Dinámica de Sistemas: elementos internos al CPI.
(elaboración propia)

Selección del esquema de participación [MCDA].

Con la información recabada en esta etapa de la propuesta metodológica se procede a ejecutar el proceso de toma de decisiones, con la finalidad de determinar el esquema de

participación del CPI en cada alternativa identificada. Esta etapa corresponde a la sección IV de la metodología general presentada en la sección 3.1 (figura 17).

La figura 50 muestra las principales alternativas que el Centro de I+D tiene para participar en la temática identificada:



**Figura 50. Alternativas de desarrollo en las temáticas seleccionadas.
(elaboración propia)**

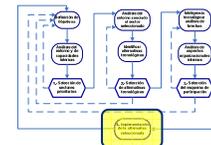
En la etapa final de la propuesta metodológica, es decir, en la selección del esquema de participación del Centro de I+D, es importante considerar que en este sistema en particular existe una importante interacción de componentes altamente complejos, es decir, seres humanos inteligentes (Newman, et al., 2006). En el caso de la propuesta metodológica descrita, dicha interacción es más intensa durante el proceso de toma de decisiones, por lo que es importante considerar en esta etapa que una característica fundamental de todo sistema social es que están constituidos por relaciones no-lineales,

ya que contienen limitaciones físicas, sociales y psicológicas que restringen el comportamiento de las personas que viven en ellos (Radzicki, 1990).

En este punto, se ha identificado el tema y estrategia de desarrollo para el Centro de I+D, con la finalidad de direccionar su desarrollo estratégico hacia actividades de alto valor agregado.

Es importante recordar que, como se señaló anteriormente, y de acuerdo a lo indicado en la figura 32, la propuesta metodológica es iterativa. Por lo que, a partir de la información obtenida en cada etapa, podría ser necesario revisar la información y los resultados de alguna etapa anterior.

4.1.4.- Implementación del (los) proyecto(s) seleccionado(s).



A menos que una decisión se ejecute, continuará siendo solamente una buena intención. Es por ello que, una vez que se ha determinado la alternativa tecnológica, así como el esquema de desarrollo, se procede a la ejecución de los proyectos seleccionados, asegurando la implementación de mecanismos de control durante su desarrollo, así como la capitalización de los resultados obtenidos, a partir de los cuales se genera un flujo de realimentación para una nueva aplicación de la metodología propuesta.

Varios autores (Bourgeois y Brodwin, 1984; Nutt, 1993; Drucker, 1967) señalan que la efectividad de las decisiones depende tanto del proceso de toma de decisiones, como de su implementación, ya que el éxito final de las decisiones depende significativamente de la ejecución de la decisión en sí, así como de la forma como se llegó a dicha decisión.

Las decisiones estratégicas generan “olas” de subdecisiones y tareas (Mintzberg et al., 1976), las cuales deben ejecutarse efectivamente para que la decisión sea exitosa. Dichas acciones dependerán de la naturaleza de la decisión, y pueden involucrar tanto a elementos internos como externos de la organización; incluso podrían implicar la ejecución de cambios profundos en la estructura y la cultura organizacionales (Bourgeois y Brodwin, 1984; Skivington y Daft, 1991).

Peter Drucker (1967) señala que “mientras que las decisiones efectivas se basan en un alto nivel de conceptualización, su implementación debe realizarse considerando las capacidades de las personas a cargo de esta labor”. De hecho, para implementar una decisión se requiere dividirla en pasos concretos, cuya responsabilidad se asigna a individuos específicos.

Un aspecto fundamental para el éxito en la implementación de las decisiones es el seguimiento de estas actividades. Es necesario asegurar que dicho seguimiento sea un reflejo objetivo de la realidad, con la finalidad de posibilitar que las subdecisiones necesarias se tomen de manera también efectiva. Este aspecto se aborda en la siguiente sección.

4.1.5.- Acerca de la efectividad de las decisiones: Entre la “extinción por intuición” y la “parálisis por análisis”.

El estudio del éxito de las decisiones estratégicas es un tema abordado continuamente por la literatura especializada, dada su relevancia para las organizaciones. Harrison y Pelletier (2001) señalan las siguientes características de este tipo de decisiones:

- Implican el análisis de la relación de la organización con su entorno.
- Los efectos de estas decisiones tienen implicaciones para toda la organización.
- La decisión requiere información proveniente de todas las áreas funcionales de la organización.
- La decisión tiene influencia directa con todas las actividades administrativas y operativas de la organización.
- La decisión es de vital importancia para el desarrollo y beneficio a largo plazo de toda la organización (Shirley, 1982)

Es común encontrar un paradigma recurrente respecto a las decisiones estratégicas, consistente en que dichas decisiones son más efectivas cuando los tomadores de decisiones “siguen su intuición”, evitando caer en “parálisis por análisis”. Como consecuencia, se minimiza la importancia de un análisis detallado de las variables relacionadas al problema. Sin embargo, un creciente número de investigaciones han encontrado que las decisiones más efectivas se toman cuando las organizaciones cuentan con un método sistemático para apoyar la toma de decisiones. A continuación se

describen los principales aspectos que, de acuerdo a la investigación en el tema, determinan la efectividad del método que la organización utilice para la toma de decisiones:

- ***Contar con un proceso formal para la toma de decisiones.***

Dada la complejidad y la naturaleza dinámica de la toma de decisiones estratégicas, una gran cantidad de investigaciones en la materia promueven el uso de un proceso sistemático para realizar estas decisiones (Harrison y Pelletier, 2001; Frederickson, 1971; Harrison, 1996; Holsapple y Moskowitz, 1980; Mintzberg et al., 1976; Schrenk, 1969; Simon, 1960). Varios investigadores (Simon, 1960; Trull, 1966; Drucker, 1967; Mintzberg et al., 1976; Harrison y Pelletier, 1995; Dean y Sharfman, 1996) sostienen que un proceso formal de toma de decisiones es necesario para el éxito de las decisiones estratégicas.

Nutt (2011) señala que conceptualizar a la decisión como un proceso, permite un rastreo de las acciones tomadas, lo cual facilita el análisis y la consecuente mejora del proceso, a partir de la codificación de sus entradas y salidas, gracias a que se cuenta con un método formal que describe la manera de tomar mejores decisiones, en lugar de que la toma de decisiones se vuelva una competencia de nociones e ideas.

- ***Evitar que una dinámica política se involucre en la toma de decisiones.***

Estudios como los realizados por Eisenhardt and Bourgeois (1988), Ford (1989), Nutt (1993), y Voyer (1994) han señalado el vínculo entre la política y las decisiones

infructuosas. Dean y Sharfman (1996) encontraron una correlación negativa entre el comportamiento político en la toma de decisiones y la efectividad de las decisiones. Señalan que las dinámicas políticas socavan la efectividad de las decisiones, ya que se caracterizan por una mezcla de intereses, luchas de poder y posicionamientos, enfocándose más a la interacción entre los tomadores de decisiones, que en la que sería la mejor decisión considerando las variables que debieran analizarse (Hickson et al., 1986). Además, este tipo de dinámicas pueden introducir restricciones adicionales a las posibles soluciones (Nutt, 1993), por ejemplo, cuando una alternativa que en principio sería factible, es descartada debido a la oposición de un individuo poderoso. Por lo tanto, es de esperar que las decisiones que resultan de dichos esquemas cuenten con menor información acerca de las variables relacionadas al problema, dando por resultado decisiones menos efectivas.

- *Contar con métodos y herramientas adecuados para el análisis de la información.*

El análisis de la información (referida en este trabajo como la etapa de inteligencia) es fundamental para identificar y procesar las variables relevantes a la decisión (Aharoni et al., 1978). El valor de dicho análisis es mayor en entornos inestables (Aguilar, 1967), en los que se requiere un conocimiento más detallado acerca de la dinámica del contexto. Los tomadores de decisiones que fallan en recolectar y analizar esta información de manera sistemática, tienen mayor probabilidad de dirigir a sus organizaciones en direcciones estratégicas inviables (Dean y Sharfman, 1996).

Mintzberg et al., (1976) realizaron un análisis de 25 procesos de decisión utilizados por diferentes tipos de organizaciones. Encontraron que la etapa de análisis de información es la más importante de todo el proceso de decisión, ya que determina el subsecuente curso de acción. Señalan que, paradójicamente, la investigación en el tema ha prestado poca atención a esta etapa, enfocándose principalmente en los métodos y rutinas de selección, las cuales frecuentemente se abordan de manera aislada al proceso general de decisión.

De manera análoga, Macmillan (2000), Dean y Sharfman (1996) y Bourgeois (1985), encontraron una relación positiva entre el análisis de información como parte del proceso de toma de decisiones, y un buen desempeño organizacional. Dean y Sharfman (1996) señalan que los tomadores de decisiones que utilizan procesos racionales para recabar y analizar una considerable cantidad de información antes de tomar decisiones, tendrán una percepción más adecuada de las condiciones externas e internas, lo cual redundará en beneficio de la efectividad de las decisiones.

Sin embargo, también es necesario tomar en consideración que la obtención y análisis de información es una tarea costosa, por lo que deben identificarse los niveles de información adecuados, tomando en cuenta el costo-beneficio relacionado a la obtención de información adicional (Trull, 1966), para encontrar el “nivel óptimo de información necesario para lograr la operación efectiva del proceso de toma de decisiones” (Harrison, 1995).

- ***Conocer sistemáticamente el entorno y el estado interno de la organización.***

Una decisión será más exitosa cuanto mayor conocimiento se posea acerca del entorno y del contexto organizacional (Dean y Sharfman, 1996), así como de las alternativas bajo consideración (Pfeffer y Salancik, 1978).

Peter Drucker (1967) sostiene que el proceso de toma de decisiones debe considerar el análisis del entorno y de los factores internos relevantes, con la finalidad de identificar los principios y aspectos generales de la situación en cuestión, para lograr un mejor enfoque del problema de decisión.

Bourgeois y Eisenhardt (1988), así como Priem et al., (1995) encontraron que las organizaciones más exitosas en entornos altamente cambiantes cuentan con métodos racionales para apoyar la toma de decisiones. Miller y Friesen, (1983) encontraron que las organizaciones invierten un mayor esfuerzo de recopilación y análisis de información cuando trabajan en un ambiente altamente dinámico, e incierto (Daft et al., 1988).

- ***Definir el método de implementación.***

El éxito de las decisiones depende tanto del proceso de toma de decisiones, como de la implementación de las mismas. Dean y Sharfman (1996) encontraron una correlación positiva entre la calidad de la implementación y la efectividad de la decisión. De acuerdo a Trull (1966), entre los aspectos que deben considerarse como parte de implementación se encuentran: la prevención del conflicto de intereses, la correcta gestión de riesgos durante la implementación, y el nivel de conocimiento adquirido previo a la

implementación. Es necesario tomar en cuenta que una decisión estratégica implica la necesidad de tomar decenas o tal vez cientos de decisiones operativas asociadas a la primera. Es por ello que el proceso de toma de decisiones debe asegurar la continua provisión de información para apoyar a dichas sub-decisiones.

- ***Monitorear el proceso de toma de decisiones, así como la implementación.***

Como se ha mencionado, la efectividad de las decisiones depende también de que se mantenga un monitoreo continuo de las condiciones cambiantes del entorno, ya que éstas podrían determinar que una decisión previamente tomada deje de ser pertinente si llegara a presentarse una modificación en las variables de contexto. Drucker (1967) hace hincapié en que la información acerca de la implementación debe ser de primera mano. Enfatiza que el uso de medios informáticos implica necesariamente una abstracción de la realidad, lo cual podría implicar pérdida de información acerca de la situación real, por lo que debe asegurarse que dichas herramientas reflejen objetivamente las condiciones actuales.

Harrison y Pelletier (2000) señalan que la previsión y seguimiento del éxito de las decisiones es el indicador más significativo de una gestión efectiva en una organización formal. Sin embargo, evaluar los resultados a largo plazo de la toma de decisiones es sumamente difícil. Es por ello que muchos autores (Dean and Sharfman 1993, McCart and Rohrbaugh 1989, von Winterfeldt and Edwards 1986, Howard 1980) sugieren evaluar la calidad del proceso de decisión en lugar de evaluar los resultados de las decisiones (Schilling, et al., 2007).

Mantener un seguimiento de las condiciones cambiantes del entorno permite sustentar adecuadamente la subsecuente toma de decisiones durante la implementación de las decisiones estratégicas. En el caso presentado en este trabajo, serviría para evaluar la pertinencia de continuar con algún programa o línea temática actualmente en curso, o de modificar sus características específicas, con la finalidad de lograr una mejor adaptación a las condiciones cambiantes del entorno.

Evaluación del valor de la información.

Considerando los factores asociados a la efectividad de las decisiones, a continuación se propone un esquema para monitorear estos aspectos en el sistema de apoyo a la toma de decisiones descrito en la propuesta metodológica, con la finalidad de promover la mejora sistemática de la efectividad de las decisiones. El esquema que a continuación se presenta implica la evaluación del valor de la información, mediante la cuantificación de tres aspectos: 1.- Contribución de la información, 2.- Calidad de la información y 3.- Sinergia de la información. Se propone que la evaluación sea realizada por los participantes en la toma de decisiones, para cada una de las actividades que conforman las etapas de inteligencia señaladas en las figuras 43, 45 y 46. La frecuencia de evaluación sería definida de acuerdo a las estrategias del CPI.

La evaluación que a continuación se presenta, tiene como intención transparentar la información de acuerdo a una propuesta susceptible de mejorarse y cuya intención es mostrar uno de los posiblemente varios esquemas que pueden utilizarse con este fin.

A continuación se describen los pasos propuestos para evaluar el valor de la información:

1. Se evalúa la contribución de la información obtenida en cada etapa de la propuesta metodológica. Dicha evaluación se realiza de acuerdo a la tabla 7. A cada actividad se le asigna un porcentaje, de acuerdo a la descripción indicada en la columna derecha de la tabla.

**Tabla 7: Evaluación de la contribución de la información
(elaboración propia)**

Etapas / Actividades	Contribución de la información de cada actividad
4.1.1 Selección de sectores prioritarios:	<p>Grado en que la información recabada al aplicar la propuesta metodológica contribuye a reducir la incertidumbre de la decisión:</p> <p>0 a 25%: la información es ambigua y no contribuye a aclarar el tema de referencia.</p> <p>26 a 50%: la información aclara ciertos puntos generales, pero no es suficientemente detallada respecto al tema en cuestión.</p> <p>51 a 75%: La información es suficiente para ser utilizada como referencia para una toma de decisiones.</p> <p>76 a 100%: La información aclara totalmente el panorama relacionado al aspecto o al punto de referencia, por lo que contribuye significativamente a la toma de decisiones.</p>
Inteligencia de mercados [InMerc]	
Política tecnológica [PolTec]	
Capacidades tecnológicas [CapTec]	
<i>Nota: se omite la actividad "definición de objetivos", dado que estos se definen como parte de la estrategia general del CPI.</i>	
4.2.2 Selección de alternativas tecnológicas:	
Estado del Arte [EsArt]	
Identificar alternativas tecnológicas [IATec]	
Análisis del entorno [AnEnt]	
4.2.3 Selección de esquema de participación o desarrollo	
Flujo de conocimiento y gradiente tecnológico [FluCo]	
Caracterizar al modelo de operación [ModOp]	
Inteligencia Tecnológica [InTec]	
Actividades de Innovación [ActIn]	
Recursos humanos [ReHum]	
Recursos necesarios para cada alternativa [ReNec]	
<i>Nota: se omite la actividad "recursos disponibles", dado que estos se definen como parte de la estrategia general del CPI.</i>	

2. Se evalúa la calidad de la información otorgada por el sistema de apoyo a la toma de decisiones, de acuerdo a los criterios mostrados en la tabla 8. Dichos criterios se han establecido tomando como referencia a Redman (1996), Davenport (1999), Cornella (2000) y Kahn et al. (2002):

Tabla 8: Aspectos relacionados con la calidad de la información

Criterio	Descripción	Peso
Relevancia. (Cornella, 2000)	Adecuación de la información a las necesidades de quien la tiene que utilizar. La información no-relevante es ruido y la información relevante que no se obtiene es silencio.	%
Fiabilidad. (Cornella, 2000)	Confianza en la calidad, o certeza, de la información, normalmente consecuencia de la confianza en la fuente de la que procede.	%
Exhaustividad. (Cornella, 2000)	“Grado de minimización del silencio” (Cornella, 2000). “El dominio de la información es lo suficientemente amplio para cubrir los usos o aplicación prevista” (Redman, 1996).	%
Detalle (Cornella, 2000)	"Adecuación entre la cantidad y profundidad de la información facilitada y la situación informacional de quien tiene que usarla" (Cornella, 2000) (Kahn et al., 2002).	%
Focalización y precisión. (Cornella, 2000)	Organización de la información alrededor de un tema en concreto.	%
Claridad de definición (Redman, 1996)	“Cada término o concepto utilizado está claramente definido” (Redman, 1996). “Grado en que la información se presenta en lenguajes, símbolos y unidades apropiados” (Kahn et al., 2002)	%
Objetividad (Kahn et al., 2002)	Grado en que la información es insesgada, libre de prejuicios e imparcial.	%
Flexibilidad (Redman, 1996)	“La información puede adaptarse fácilmente a diferentes usos o aplicaciones, sin requerir cambios sustanciales cada vez que se cambie la aplicación o uso” (Redman, 1996). “La información puede manipularse fácilmente, y ser utilizada para diferentes tareas” (Kahn et al., 2002).	%
Actualidad (Kahn et al., 2002)	Grado en el cual la información se encuentra lo suficientemente actualizada para la tarea a desarrollar.	%
Accesibilidad (Kahn et al., 2002)	La medida o el nivel en que la información se encuentra disponible, o fácilmente recuperable.	%
Formato (Cornella, 2000)	“Adecuación de la forma de presentación de la información a lo que el usuario requiere en una determinada situación” (Cornella, 2000). “Adaptación de la presentación de la información, dependiendo del tipo de usuario” (Davenport, 1999). “Representación de la información de manera compacta” (Kahn et al., 2002)	%
Consistencia semántica (Redman, 1996)	Los datos deben ser claros, no ambiguos y representados de manera consistente (Redman, 1996) (Kahn et al., 2002)	%
Singularidad (Davenport, 1999)	Nivel de exclusividad de la información (acceso a información “privilegiada” que pierde su valor cuando se hace circular)	%
		$\Sigma =$ 100%

El “peso” indicado en la tabla 8 es el valor que cada aspecto puede obtener. La evaluación puede ir desde cero a dicho valor. Los porcentajes de contribución indicados en la tabla 8 se determinan de acuerdo al criterio de cada organización, con la finalidad de enfatizar aquellos temas que se consideren más relevantes en cada situación. La suma de todos los aspectos debe sumar 100%. La sumatoria representa la calidad de la información considerando dichos aspectos.

3. Se evalúa la sinergia de la información, calificando del 0 al 100% el grado en que la información proporcionada por cada elemento de la propuesta metodológica interactúa con el resto de las etapas, para apoyar la toma de decisiones. La dinámica del modelo de proceso resulta de la interrelación de las funciones relacionadas a la toma de decisiones, por lo que debe considerarse que la interacción efectiva entre las funciones relacionadas con la toma de decisiones produce un efecto sinérgico (Harrison y Pelletier, 2001). Por lo tanto, la sinergia contribuye en favor del modelo de proceso, de una manera que no se logra con la acción independiente de una serie de acciones discretas (Harrison y Pelletier, 2001). La sinergia es entonces, uno de los principales beneficios del modelo de proceso, y otra razón por la cual este modelo es más apropiado para la toma de decisiones estratégicas (Harrison y Pelletier, 1995; Harrison, 1999).
4. Se determina el valor de la información, mediante la aplicación del método PROMETHEE, considerando la interacción de la contribución, la calidad y la sinergia de la información. La tabla 9 muestra un ejemplo hipotético en el cual se

evalúan los criterios de contribución, calidad y sinergia de la información para los diferentes elementos de la propuesta metodológica.

**Tabla 9: Criterios para evaluar el valor de la información
(ejemplo para fines demostrativos)**

	Contribución	Calidad	Sinergia
InMerc	0.5	1	0.25
PolTec	0.45	0.65	1
CapTec	0.35	0.35	1
EsArt	1	1	1
IATec	0.75	0.45	0.34
AnEnt	0.65	0.45	0.4
FluCo	0.56	1	0.65
ModOp	0.25	0.25	0.65
InTec	0.34	0.35	0.5
ActIn	0.14	1	0.5
ReHum	0.75	0.65	0.67
ReNec	0.65	0.75	0.35

Con los datos de la tabla 9 se obtiene el valor Φ para cada una de las actividades, para lo cual es posible utilizar el software DecisionLab®. La gráfica 51 muestra los valores Φ correspondientes al ejemplo de la tabla 9.

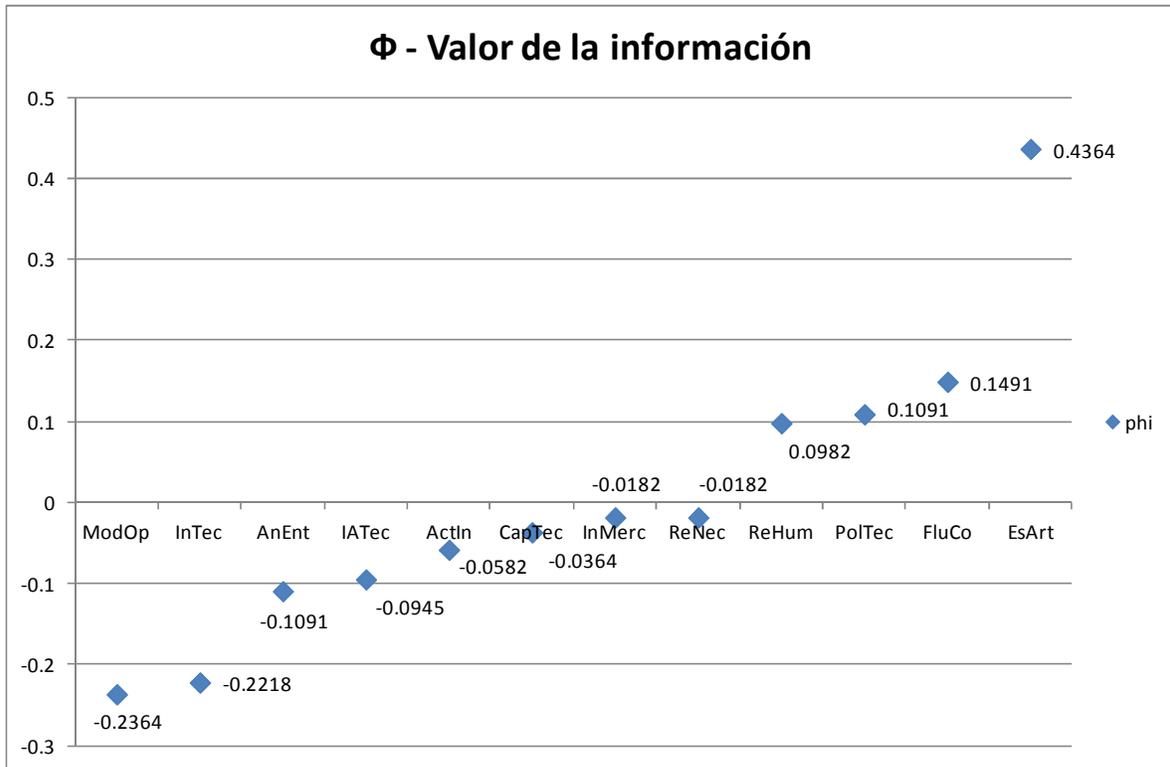


Figura 51. Valor de la información de los elementos de la propuesta metodológica. (ejemplo para fines demostrativos)

Considerando los resultados mostrados en la figura 51, se identifica que, para el caso ejemplificado, la información correspondiente a la actividad “Caracterizar al Modelo de Operación” [ModOp] entrega el menor valor para la toma de decisiones. A partir de esta evaluación es posible identificar estrategias al respecto, con la finalidad de mejorar la efectividad de las decisiones.

Como se ha mencionado anteriormente, esta evaluación del valor de la información entregada por el sistema de apoyo a la toma de decisiones puede realizarse con la frecuencia que la organización determine. No necesariamente debe hacerse cada vez que el proceso opera.

Debe considerarse que esta evaluación se basa en la evaluación de los usuarios, lo cual tiene sentido si se considera que la toma de decisiones es una actividad socio-técnica, motivo por el cual, es prácticamente imposible realizar una evaluación puramente objetiva de la efectividad del proceso de toma de decisiones, además de que dicha evaluación podría realizarse en el largo plazo únicamente. Por lo que se propone la evaluación del valor de la información como una manera de verificar y controlar el desempeño del proceso de toma de decisiones en tiempo real. Al igual que la propuesta metodológica presentada en el apartado 4.1, la validación de este esquema para evaluar el valor de la información puede realizarse mediante la aplicación real en el CPI. En el capítulo 5 se describe este punto.

4.2 Evaluación de la entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones [Entr]

Se ha mencionado que, de acuerdo a la descripción de la mecánica estadística del concepto de entropía (ver sección 2.1B), la entropía de un sistema está determinada por la cantidad de “estados” accesibles para dicho sistema, y la probabilidad de ocurrencia de cada uno de esos estados. En el caso del sistema de apoyo a la toma de decisiones, dichos estados están determinados por los escenarios que se pueden presentar como producto de la operación de dicho proceso. En principio, el número de escenarios puede ser infinito, sin embargo, Asbhy (1956) señala que la consideración de estados infinitesimales implica una serie de dificultades prácticas, por lo que en su lugar sugiere asumir un número finito de estados, considerando que la diferencia entre ellos es también finita.

Como se ha mencionado, los sistemas abiertos (como es el caso de un Centro Público de I+D) pueden disminuir su entropía de manera consistente. Leon Brillouin acuñó el término “neguentropía” para referirse a la entropía negativa, demostrando que la información equivale a la neguentropía de un sistema, y viceversa (Brillouin, 1953).

Szilard (1929) especifica que el concepto de entropía es por sí mismo un indicador del estado del sistema. Brillouin (1953) también describe el concepto de entropía como un indicador, asociándolo con la capacidad de un sistema para realizar trabajo, determinado por diferencias de estado (heterogeneidad) dentro del sistema; por ejemplo, diferencias de temperatura, de presión o de potencial eléctrico. Asimismo, Miller (1978), Rothstein (1958) y Wiener (1961) coinciden en decir que, así como la cantidad de información en un sistema es una medida de su nivel de organización, la entropía de un sistema es una medida de su nivel de desorganización, ya que es una medida de la “información perdida” (Ben-Naim, 2008).

De acuerdo a lo descrito en el apartado 2.1B “Entropía y desorden”, la entropía puede ser considerada como una manera importante de definir y evaluar la sostenibilidad de los sistemas abiertos (en cuya clasificación se incluyen los sistemas organizacionales); por un lado, si el nivel de desorden (el cual, como se ha mencionado anteriormente, está determinado por la homogeneidad del sistema, y por lo tanto, con un bajo nivel de información acerca de su estado) es alto, entonces el sistema carece de sostenibilidad. Por el contrario, si la entropía es baja (determinada en este caso por la heterogeneidad del sistema y por consiguiente, por un alto nivel de información acerca del estado del

sistema), la sostenibilidad es mayor. Una manera de apreciar a la entropía como un indicador, es considerar que si ésta va en aumento, la sostenibilidad futura del sistema está en riesgo (Bailey, K., 2001).

Un sistema sostenible debe, por definición, asegurar que su nivel de entropía no aumente hacia niveles máximos, dado que el nivel máximo de entropía (caracterizado por una homogeneidad absoluta) equivale a la muerte del sistema. Para ser sostenible, el sistema debe contar con subsistemas que aseguren que el sistema cuente con información necesaria para mantener sus niveles de entropía en niveles controlados.

En este trabajo se propone que, para el caso del sistema de apoyo a la toma de decisiones en nuevas tecnologías en un CPI, las mencionadas “diferencias de estado” corresponden a las probabilidades de asumir un determinado nivel de riesgo en la toma de decisiones, y que dichas probabilidades son determinadas por la información que la organización recibe de dicho sistema. Es decir: la entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones es una manera de evaluar el riesgo que se asume al tomar decisiones, y depende del valor de la información obtenida al aplicar la propuesta metodológica descrita en el apartado 4.1.

Como se mencionó anteriormente, *el éxito real de las decisiones depende tanto del proceso de toma de decisiones (cuyo desempeño se evaluaría mediante la entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones mencionada en el párrafo anterior), aunado al curso de las acciones en la etapa de implementación de dichas decisiones.*

Considerando lo anterior, a continuación se presenta el método propuesto para evaluar el nivel de entropía del sistema de decisión presentado en la sección 4.1:

1. Determinar (o identificar) el sistema de decisión a evaluar. En el caso del presente trabajo, corresponde al sistema de apoyo a la toma de decisiones en nuevas tecnologías.
2. Especificar el número de "estados" (K) que podrían resultar de la decisión.

El número de estados corresponde a los escenarios (niveles de riesgo asociados a la decisión), los que en principio pueden ser infinitos. Sin embargo, se recomienda establecer un número finito de escenarios, que describan de manera general los posibles niveles de riesgo de la decisión, desde el escenario pesimista hasta el optimista. Por ejemplo se podrían considerar diez escenarios, los cuales abarcarían desde el Escenario 1, que implica un riesgo alto, hasta el Escenario 10, caracterizado por un bajo riesgo en la toma de decisiones.

3. Se obtiene la distribución de probabilidad de la relación entre el número de estados posibles de la decisión (niveles de riesgo) mencionados en el punto 2 y el valor de la información obtenida al aplicar la propuesta metodológica, según lo descrito en el apartado 4.1.5. Dicha probabilidad se obtiene de la siguiente manera:
 - a. A partir de los valores Φ (ver figura 51) se realiza un cambio de origen de dichos datos, con la finalidad de eliminar los números negativos. Esto se realiza sumando el inverso del menor valor a todos los valores Φ obtenidos.

- b. Se calcula la probabilidad acumulada de ocurrencia para cada uno de los escenarios (p_i), mediante la función de densidad acumulada de la probabilidad normal.
4. Se calcula la entropía del sistema de decisión (S), de acuerdo a la siguiente fórmula propuesta por Shannon (1948):

$$S = - \sum_{i=1}^N p_i \ln(p_i)$$

5. El resultado obtenido se interpreta de acuerdo al esquema propuesto en la tabla 10:

Tabla 10: Interpretación del valor de la entropía (S) del sistema de apoyo a la toma de decisiones

Valor de S	Interpretación	Recomendación
$\frac{3}{4} \ln K < S \leq \ln K$	El sistema de decisión tiene un desorden alto . Los datos correspondientes al valor de la información son muy variables.	Reforzar la contribución y calidad de la información en los temas con menor calificación antes de proceder a la toma de decisiones.
$\frac{1}{2} \ln K < S \leq \frac{3}{4} \ln K$	El sistema de decisión está ordenado . Los datos de “valor de la información” se concentran mayoritariamente en torno a un valor	Revisar la tendencia del parámetro “valor de la información”. Determinar si debe reforzarse el valor de la información antes de proceder con la toma de decisiones.
$0 < S \leq \frac{1}{2} \ln K$	El sistema de decisión tiene un orden alto . Los datos correspondientes a “valor de la información” se agrupan en torno a un punto común.	Revisar la distribución de datos correspondientes a “valor de la información”. Proceder con la toma de decisiones cuando se encuentre que los datos se distribuyen en torno a un valor alto. Decidir si continuar o no con la toma de decisiones a partir de dichos datos, cuando se determine que el valor de la información es reducido.

En la tabla anterior, K representa el número de categorías que se decida utilizar, de acuerdo a lo indicado en el punto 2, considerando que $\ln(K)$ representa la entropía máxima que podría tener el sistema (García-Colín, 1989).

Como se ha mencionado, el que el sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS) cuente con una alta entropía, implica que todos los escenarios considerados cuentan con la misma probabilidad de ocurrencia, es decir: no se cuenta con información suficiente para determinar el nivel de riesgo que se asume al tomar la decisión. Por el contrario, una baja entropía significa que la distribución de probabilidades otorga mayor información acerca del estado del sistema. En este caso, significa que cierto escenario tiene una mayor probabilidad de ocurrencia que el resto.

De esta manera, el parámetro de “entropía del sistema de decisión” puede ser utilizado para evaluar el riesgo relacionado a la toma de decisiones, a partir de la evaluación del valor de la información obtenida mediante la aplicación de la propuesta metodológica descrita en los apartados 4.1.1 a 4.1.3.

A continuación se presenta una propuesta para desarrollar la arquitectura de un sistema de apoyo a la toma de decisiones en tecnologías, como el descrito en este trabajo:

4.3 Desarrollo del sistema de apoyo a la toma de decisiones en nuevas tecnologías³

Para operar adecuadamente, la toma de decisiones en nuevas tecnologías requiere la concepción de un “sistema de recursos intangibles, vinculados y articulados de una forma estratégica y monitoreados de manera continua” (Baquero J., Hernández H., 2008). Dichos recursos resultan de la especialización de las diferentes funciones organizacionales. Sin embargo, la especialización también puede dar como resultado que se disminuya la interdisciplinariedad y la colaboración transversal a través de la organización (Baquero J., Hernández H., 2008). La organización se encuentra entonces en un estado en el que los trabajadores del conocimiento no tienen la posibilidad de acceder a la información necesaria y colaborar para desarrollar soluciones organizacionales a problemas clave (Cummins, Fred A. 2002).

Debido a lo anterior, para apoyar a la toma de decisiones se requiere coordinar una estrategia de ensamble de conocimiento, la cual se da a partir de conocimiento que ya existe en su mayoría, pero que está desconectado (Tiwana, A. 2002). El factor humano sigue siendo de especial relevancia, dado que sin la intuición acerca del mundo real, las capacidades de las computadoras son bastante limitadas (Maguire, S., Ojiako, U., y Robson, I., 2009), por lo que es claro que las tecnologías de información no pueden sustituir al análisis humano, el cual se basa en el contexto, experiencias y supuestos (Powell et al., 2004), así como en el conocimiento tácito, el entendimiento y el aprendizaje (Baquero J., Hernández H., 2008), que son los recursos más importantes

³ Esta sección se preparó a partir del trabajo presentado por Escobar-Toledo y Martínez-Berumen (2011).

para el conocimiento y la innovación organizacional (Teece, D.J. 1998). No obstante lo anterior, las tecnologías de información si pueden apoyar dichas actividades, no solo mediante la organización de los datos, sino también en la tarea de transformar la información en conocimiento organizacional.

En ese sentido, las Tecnologías de Información (TI) representan muchas oportunidades para las organizaciones (incluyendo las académicas) que hacen uso de ellas para ganar una ventaja competitiva (Escobar-Toledo C.E., López-García, B., 2005). La función de apoyo a la toma de decisiones en tecnologías requiere un uso intensivo de herramientas de TI, ya que la cantidad de información es muy grande y se requieren métodos confiables para acumular, acceder, almacenar, analizar, distribuir, reportar y evaluar información acerca de la operación y del entorno organizacional (Maguire, Stuart, Ojiako, Udechukwu y Robson, Ian, 2009), con la finalidad de otorgar información confiable que apoye a los tomadores de decisiones. Por lo que, como parte de la implementación de la propuesta metodológica descrita, en la estrategia del CPI debería tomarse en cuenta la integración de este aspecto con el resto de las funciones organizacionales.

Para tal fin, se requiere desarrollar una arquitectura informática congruente con la arquitectura organizacional, que permita la integración de los diferentes recursos informáticos que la organización requiere para lograr sus objetivos estratégicos. Al desarrollar dicha arquitectura, se pueden identificar distintas áreas de colaboración productivas e interdisciplinarias (Saint-Onge H. 2008), promoviendo así que la informatización se desarrolle transversalmente a toda la organización (Baquero J.,

Hernández H., 2008), como una alternativa para diseñar sistemas “inteligentes”, en los cuales la autonomía, la emergencia y el funcionamiento distribuido reemplazan al control, la pre-programación y la centralización (Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G., 1999).

En esta sección se describe la manera como se propone hacer operativa la propuesta metodológica descrita en este trabajo, mediante la construcción de la arquitectura de un sistema de apoyo a la toma de decisiones en tecnologías, considerando las interacciones con el resto de las funciones organizacionales, definiendo un plan de implantación y transición, tomando en cuenta que se trata de una organización ya existente, que cuenta con varios sistemas informáticos operando en la actualidad, muchos de los cuales lo hacen de manera desarticulada (Baquero J., Hernández H., 2008) y que varios elementos de entrada necesarios se obtienen de manera manual. Asimismo, se toma en cuenta que la organización cuenta con recursos limitados para la adquisición o desarrollo de nuevos sistemas informáticos, por lo que debe considerarse el desarrollo y la implementación del Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (DMSS, por sus siglas en inglés) como un proceso gradual y a largo plazo.

Integración de Sistemas Informáticos.

Podría parecer sorprendente señalar que aproximadamente el 80% de la información requerida para llevar a cabo actividades de inteligencia ya existe dentro de las organizaciones (Rouach y Santi, 2001). Sin embargo, los altos directivos de los grandes corporativos se sienten frustrados por sus sistemas de información. Tienen problemas para obtener información acerca de la operación, así como para analizar las causas de los

problemas más importantes, con la finalidad de desarrollar soluciones (Cummins, Fred A. 2002).

Debido a lo anterior, la integración de los sistemas informáticos es un tema relevante en la agenda estratégica de las organizaciones. El término Sistema de Información Corporativo (EIS, por sus siglas en inglés) se refiere a un sistema de información que facilita los procesos de negocio y la funcionalidad a nivel organizacional (es decir, que se extiende por toda la organización) (Jukic et al., 2009). Al respecto, uno de los factores primordiales es asegurar que los sistemas informáticos se adecúen y adapten a la estrategia organizacional, asegurando que cuando ésta última cambia, los sistemas informáticos permitan y se adapten a dicho cambio, en lugar de convertirse en una limitante para el cambio (Cummins, 2002).

Uno de los retos principales para lograr la integración de los sistemas informáticos es que, usualmente, las organizaciones los integran de manera aislada (Sharum y Sage, 2002/2003), lo cual se debe a que las organizaciones frecuentemente toman estas decisiones sin un análisis formal de los procesos y sistemas existentes, o sin un entendimiento claro acerca de los detalles de cada nuevo sistema (Jukic et al., 2009); esto se origina principalmente debido a “una falta de entendimiento por parte de la alta dirección, de las relaciones entre los aspectos técnicos de las Tecnologías de Información (TIs) y los aspectos relacionados con la estrategia organizacional” (OASIG, 1996). La mayoría de las organizaciones carecen de un enfoque que integre los aspectos relacionados con el cambio organizacional y el cambio en TIs relacionado (Sedmak, 2010).

Por lo tanto, es necesario fortalecer la alineación entre la estrategia organizacional y el desarrollo de nuevos Sistemas de Información, mediante la definición de una estrategia de desarrollo basada en la arquitectura organizacional, considerando que las arquitecturas organizacionales no son sólo constructos teóricos documentados en la literatura, ya que en la práctica son ampliamente utilizadas por instituciones industriales y públicas (Sharum y Sage, 2002/2003). Es importante aclarar que la arquitectura de la organización no sólo se refiere a aquella realizada por la función encargada de la gestión de las Tecnologías de Información, sino al contexto organizacional más amplio, el cual abarca desde una serie de arquitecturas generales (como la presentada en la sección 2.3, para el caso del CPI CIATEQ), hasta la arquitectura de los sistemas individuales (Sharum y Sage, 2002/2003).

Uno de los principales objetivos al identificar y definir la arquitectura organizacional como base para el desarrollo de los sistemas de información, es facilitar la interconexión de los diferentes elementos organizacionales, como una manera de promover sinergia e inteligencia colectiva. Cada individuo posee cierto conocimiento tanto clave como global. Este conocimiento se amplifica sinérgicamente cuando se comparte en un trabajo colaborativo (Baquero y Hernández, 2008). Además, y como se ha mencionado en este trabajo, es importante recordar que la colaboración y la interdisciplinariedad son un factor clave para la innovación, ya que “plantean nuevas situaciones metodológicas y conceptuales, lo que fuerza a un proceso de invención y de experimentación continuas” (García, 2006).

Desarrollo estratégico del DMSS

El campo de la planeación de los Sistemas de Información en la organización es un tema que aún se encuentra en desarrollo (Galliers, 2004) y respecto al cual hay varias perspectivas y enfoques diferentes (Córdoba, 2009).

Es importante considerar que los sistemas de información organizacionales se encuentran inmersos en una estrategia organizacional, y que su desarrollo, (muchos de los cuales se desarrollan con la finalidad de apoyar a la toma de decisiones) constituye por principio de cuentas, una decisión tomada como parte de la estrategia organizacional. Por lo tanto, es importante asegurar que la decisión de diseñar y desarrollar los sistemas de información organizacionales se efectúa en alineación con la estrategia general de la organización.

Como ya se ha mencionado, uno de los modelos del proceso de toma de decisiones es el propuesto por Simon (1960), el cual consiste en un paradigma de tres fases (inteligencia, diseño y selección) y que para fines de este trabajo se complementa con una fase de implementación.

Para el desarrollo estratégico del DMSS se propone la aplicación de dicho paradigma en dos niveles, iniciando por el análisis de los aspectos organizacionales con un enfoque de sistemas, a partir del cual se identifican la arquitectura organizacional y las principales necesidades de sistemas de información organizacionales, para posteriormente seleccionar y diseñar el sistema de información específico, definiendo una fase de implementación acorde con las necesidades organizacionales inicialmente identificadas.

La figura 52 resume la metodología propuesta como un proceso iterativo para desarrollar estratégicamente el DMSS en el Centro Público de Investigación.

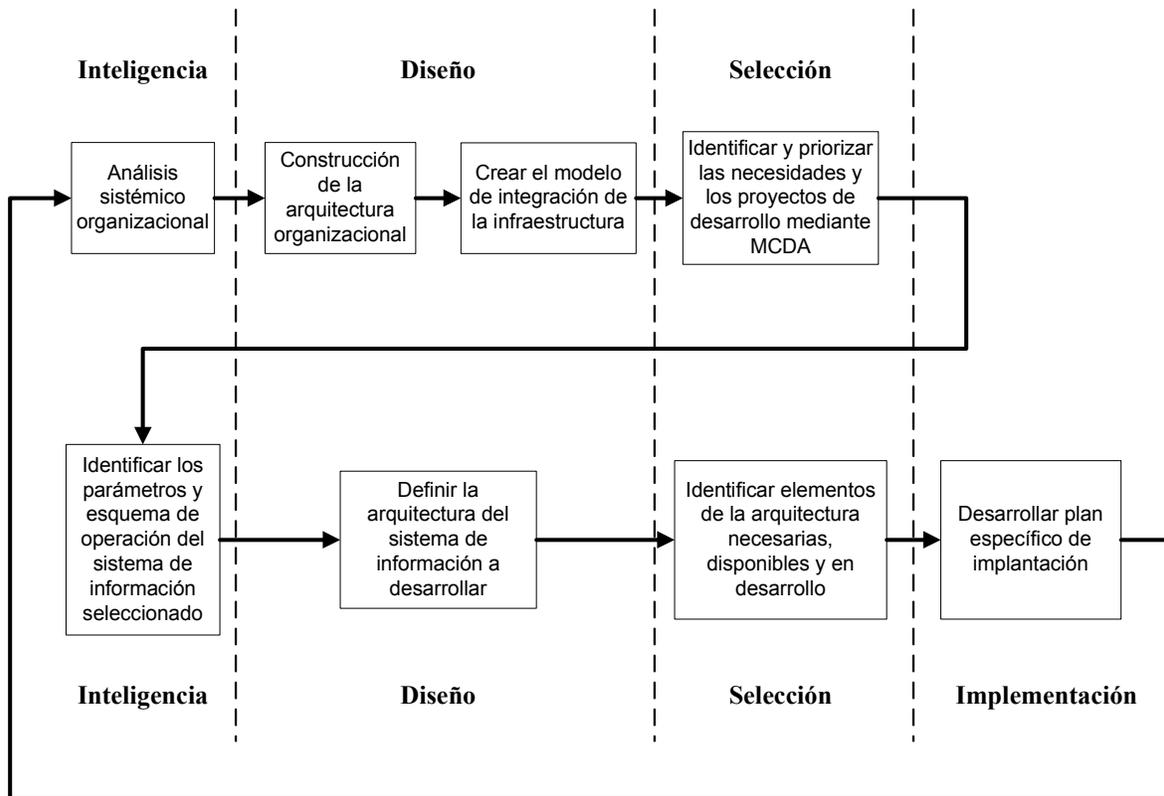


Figura 52. Metodología para el desarrollo del sistema de apoyo a la toma de decisiones (DMSS). (Escobar-Toledo y Martínez-Berumen, 2011)

El esquema propuesto se desarrolla de lo general a lo particular: desde el análisis sistémico de la organización, hasta el diseño, selección e implementación de la arquitectura del sistema de información y sus elementos específicos. Al utilizar un esquema como el presentado en la figura 52, se promueve la alineación del sistema de apoyo a la toma de decisiones (DMSS) con la estrategia general de la organización, y se asegura la integración y aprovechamiento de los diversos elementos que constituyen al DMSS.

A continuación se describe cada una de las etapas mencionadas en la figura 52:

Análisis Sistémico Organizacional [Etapa “Inteligencia”]

Para el desarrollo de un DMSS, se propone partir de un análisis sistémico del modelo de operación de la organización, como el presentado en la sección 2.3 “Marco histórico y contextual - Desarrollo del Modelo de Operación orientado a Sistemas y Procesos”, con la finalidad de asegurar que las herramientas informáticas se adapten a la operación, y no al revés.

De esta manera, es posible desarrollar la arquitectura organizacional, la cual captura a los principales componentes de una organización, incluyendo las responsabilidades e interacciones entre ellos, así como sus principales mecanismos, es decir, la manera como dichos componentes colaboran para cumplir los requerimientos de la organización (Firesmith, 2005). El contar con esta arquitectura organizacional permite asegurar, entre otras cosas, que los mismos procesos sean empleados a través de toda la organización, incluso si la operación se realiza de manera distribuida (Cummins, 2002).

Construcción de la Arquitectura Organizacional [Etapa “Diseño”]

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, la organización de una institución de investigación y desarrollo puede describirse como un sistema complejo, dada la gran cantidad de actividades e interacciones que mantiene como parte de su operación.

Una arquitectura organizacional se mantiene para servir de guía en la arquitectura de sistemas individuales, con el propósito de asegurar que los sistemas organizacionales se integren durante todas las etapas de su ciclo de vida, desde la conceptualización, diseño, desarrollo y mantenimiento, previniendo el desarrollo de aplicaciones aisladas (Sharum y Sage, 2002/2003).

Esta etapa del desarrollo del DMSS consiste en describir la arquitectura organizacional, tal como se describió en el apartado 2.3 para el caso del CPI de referencia.

Crear el modelo de integración de la infraestructura [Etapa de Diseño]

Una vez que se cuenta con la arquitectura organizacional, se requiere contar con una arquitectura informática que, además de dar soporte a la estrategia de la organización, facilite un monitoreo longitudinal y continuo de la operación (Baquero y Hernández, 2008). Es entonces cuando se procede a diseñar el modelo de integración de la infraestructura, el cual está constituido por el conjunto de componentes que permite que los sistemas organizacionales trabajen juntos (Cummins, 2002). Los flujos de información son fundamentales para lograr dicha integración, por lo que solo una consideración integral de todos los elementos y sus complejas interacciones puede revelar la magnitud real del impacto estratégico de los sistemas de información en una organización. Jukic, et al., (2009) sostienen que dicho análisis debe adoptar una visión de arquitectura de sistemas, que incluya a todos los elementos constitutivos.

Para muchas organizaciones es frecuente que, después de varios años de desarrollar aplicaciones informáticas en un entorno tecnológico cambiante, se encuentren cargadas por una amplia variedad de computadoras y aplicaciones, conectadas mediante una variedad de mecanismos “ad hoc”, lo cual ha fragmentado a la organización, creando barreras para la captura, comunicación e integración de información necesaria para la operación efectiva y el mejoramiento organizacional (Cummins, 2002).

El modelo de integración de la infraestructura es importante también, dado que permite visualizar todos los recursos y sistemas informáticos con que cuenta la organización, para conocer las habilidades de los sistemas existentes para soportar los procesos de cambio requeridos por las estrategias (Jukic et al., 2009). Una estrategia de tecnologías de información exitosa busca desarrollar continuamente la arquitectura general de los sistemas, así como sus interfases con los seres humanos y sus relaciones con otras organizaciones y con el ambiente externo (Sharum y Sage, 2002/2003).

Identificar y priorizar las necesidades y los proyectos de desarrollo mediante MCDA [Etapa de Selección]

A partir de la unión entre la arquitectura organizacional y el modelo de integración de la infraestructura, es posible identificar las necesidades de desarrollo de sistemas de información que se tenga en la organización. Como se ha mencionado, es importante considerar que la organización cuenta con recursos limitados para el desarrollo de los diferentes requerimientos organizacionales, por lo que es necesario priorizar las necesidades de desarrollo, con la finalidad de asegurar que los recursos disponibles se distribuyan entre las iniciativas prioritarias.

Dado que cada proyecto tiene diferencias significativas, proponemos el uso de métodos multicriterio, de acuerdo a lo descrito en la sección 4.1 “Secuencia para realizar el análisis multicriterio” para la selección y priorización de las iniciativas de desarrollo de sistemas de información. Las variables a considerar variarán según las prioridades de cada organización. Algunas variables que podrían considerarse son, por ejemplo: Inversión requerida, Impacto estratégico del sistema de información a desarrollar, Disponibilidad de recursos internos, Complejidad del desarrollo, tiempo necesario para desarrollar e intensidad de uso en la organización.

Identificar los parámetros y esquema de operación del sistema de información seleccionado [Etapa de Inteligencia].

Una vez que se ha seleccionado el proyecto específico, se identifican los parámetros y el esquema de operación del sistema de información a desarrollar. En el caso que se presenta en este trabajo, el proyecto a desarrollar consiste en un Sistema de apoyo a la toma de decisiones, mediante el cual se espera mejorar la calidad de las decisiones en nuevas tecnologías, al integrar los recursos intelectuales de los usuarios con las capacidades de las computadoras (Forgionne, 2000). El rango de problemas que se espera abarcar con este sistema puede ser bastante complejo, involucrando diversas variables tangibles e intangibles en varios niveles de toma de decisiones organizacionales (Clark y Jones, 2008; Singh et al., 2002; Watson et al., 2004). En este caso, la complejidad está determinada por el rango de problemas a abordar, así como por su variabilidad, la dificultad de medición y su velocidad de cambio (Clark y Jones, 2008), así como por el número de interacciones relacionadas con la operación del

sistema de información. Para el caso descrito en este trabajo, los parámetros y esquema de operación se describen en la sección 4.1 “Propuesta metodológica para apoyar la toma de decisiones en nuevas tecnologías en un Centro Público de Investigación”.

Definir la arquitectura del sistema de información a desarrollar [Etapa de Diseño].

La arquitectura del sistema de información se construye con los elementos anteriores. La figura 53 muestra la arquitectura del sistema de apoyo a la toma de decisiones en nuevas tecnologías, construida de acuerdo a los elementos propuesto por Forgionne (2000). Esta arquitectura contiene a todos los elementos de la propuesta metodológica descrita en la sección 4.1 y representada en las figuras 32, 43, 45 y 46. Los datos de entrada proceden de los elementos organizacionales del Modelo de Operación orientado a Sistemas, representado en la figura 25.

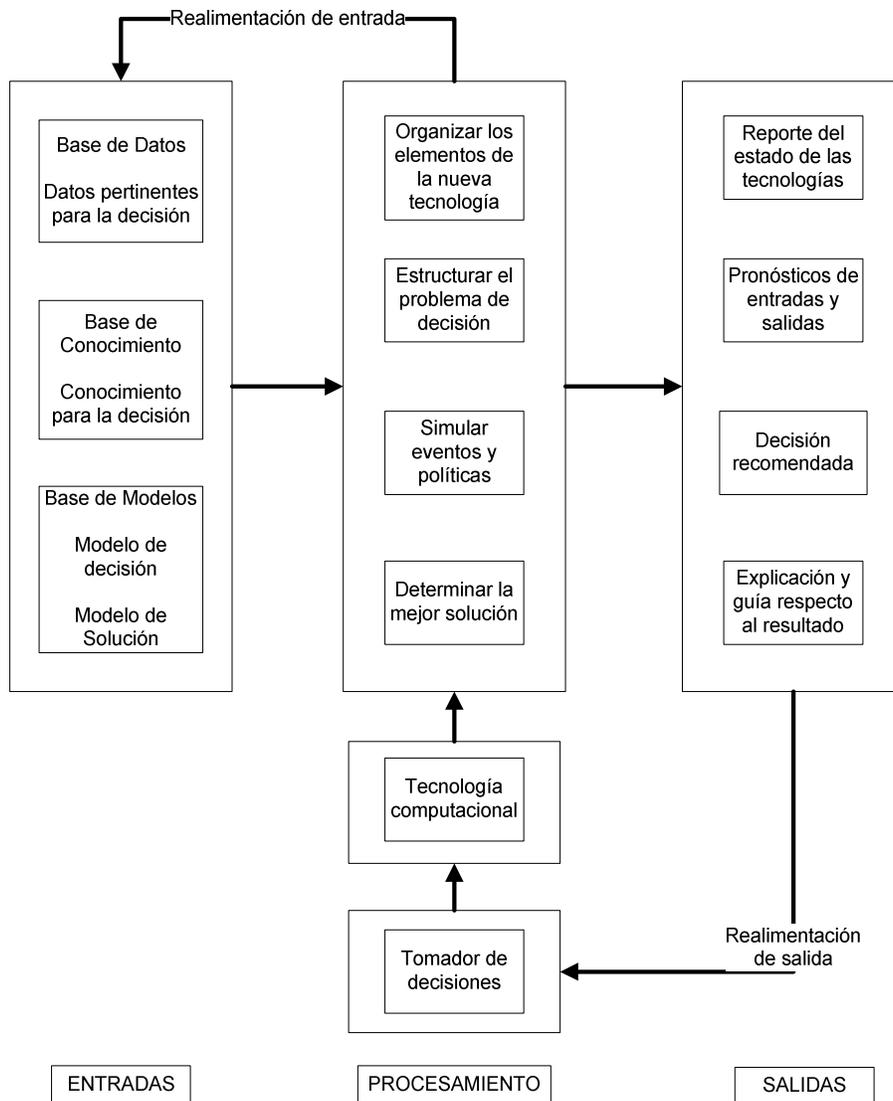


Figura 53. Arquitectura del sistema de apoyo a la toma de decisiones (DMSS) para la toma de decisiones en nuevas tecnologías. (adaptado de Forgionne, 2000)

Identificar elementos de la arquitectura necesarios, disponibles y en desarrollo [Etapa de Selección].

Una vez que se tiene definida la arquitectura del DMSS, se identifica cuales de los elementos se encuentran disponibles o en desarrollo. Se revisa la funcionalidad

requerida para cada elemento y se determina cuál es la mejor alternativa para cubrir cada una de ellas.

En esta etapa es necesario determinar claramente el estado actual y deseado. En el estado actual se utilizan varias fuentes y software que todavía requieren la participación del humano para recolectar, seleccionar, registrar, ordenar y clasificar la información. La tendencia consiste en eliminar las tareas repetitivas y tediosas, para que el humano pueda concentrarse en las actividades para las cuales se requiere análisis, intuición, contexto y conocimiento tácito.

Como parte de esta actividad es imprescindible identificar la información necesaria para la ejecución de la metodología, y que proviene de fuera de la organización. La adquisición de dicha información e integración en los repositorios y bases de datos es una actividad sensible, ya que dichas entradas son cruciales para desarrollar estrategias competitivas y prepararse para los nuevos desafíos.

Por ejemplo, como parte de la propuesta metodológica se considera la realización de análisis multicriterio para apoyar la toma de decisiones, lo que se indica en la arquitectura del sistema de apoyo a la toma de decisiones (DMSS) (figura 53) como entrada. Para ello se requiere el uso de un software especializado (por ejemplo Decision Lab®), así como una serie de bases de datos y repositorios de conocimiento, en donde se concentra la información resultante de las etapas anteriores de la Propuesta Metodológica. De manera análoga, el análisis de dinámica de sistemas requiere el uso de un software (por ejemplo Stella® o Vensim®), así como una serie de bases de datos y

repositorios de conocimiento de donde se obtendrá la información para realizar dichos análisis.

Desarrollar el plan específico de implantación [Etapa de Implementación].

La última etapa de la metodología propuesta consiste en determinar el plan específico de implantación. En esta etapa, es posible asignar recursos para el desarrollo de los elementos necesarios para la arquitectura del DMSS, de acuerdo a las necesidades identificadas en la etapa anterior. Asimismo, se definen las etapas de implantación, la dinámica del cambio organizacional, las actividades de difusión y capacitación a usuarios, y se definen los esquemas mediante los cuales se evaluará la efectividad de la implantación.

El programa de implantación debe elaborarse de manera realista, considerando la magnitud de los cambios. Debe contarse con un programa de trabajo a largo plazo, y asegurar la actualización continua de dicho documento, identificando los temas en donde se requiere reasignar recursos o modificar la estrategia de ejecución. El uso de herramientas de administración de proyectos es fundamental para el éxito de las iniciativas de cambio. Con respecto a la asignación de recursos para el desarrollo del DMSS, y de acuerdo con Clark y Jones (2008), la calidad de un sistema de apoyo a la toma de decisiones es mayor cuando se realizan pequeñas inversiones incrementales en periodos cortos, en lugar de realizar grandes inversiones con periodos más largos entre ellas.

En esta etapa es vital dedicar especial atención al factor humano, ya que aspectos como la cultura, educación, motivación, actitudes y compromiso determinan el éxito o fracaso de una iniciativa como la presentada. Se han mencionado los beneficios de promover la interconexión y colaboración entre los integrantes de la organización. Al respecto, en un estudio reciente (Sedmak, 2010) se encontró que la comunicación es un factor determinante para el éxito en la implementación, lo que refuerza la noción de que el éxito de este tipo de iniciativas depende de la integración del recurso humano. Para lograrlo, la implantación de una iniciativa como la presentada en este trabajo requiere de la participación y compromiso absoluto de la alta dirección.

El cambio es una condición necesaria para la sobrevivencia de las organizaciones. La aplicación de un enfoque como el presentado serviría para permitir a la organización incorporar cambios incrementales en los procesos de negocio, la organización, las aplicaciones y las tecnologías que soportan dicho esquema. La meta no consiste únicamente en implementar una mejora aislada, sino en asegurar que la organización entre en un ciclo de transformación continua.

V. EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

Como se ha mencionado, el objetivo de este trabajo es el desarrollo de un esquema teórico-conceptual, para apoyar la toma de decisiones en tecnologías en un Centro Público de Investigación (CPI). De acuerdo a Lara Rosano (2009), uno de los objetivos de una investigación es “emprender el estudio científico de la realidad mediante la construcción de un modelo conceptual de la misma que, rompiendo con el conocimiento de sentido común (ruptura epistemológica), permita comprender las relaciones entre sus elementos”.

De acuerdo al ciclo de los Sistemas Complejos Adaptables descrito por Gell-Mann (1994), un esquema desarrollado conceptualmente debe ser implementado en el mundo real, con la finalidad de promover su mejora (ver sección 2.3 “Marco histórico y contextual), a través de la identificación de aspectos emergentes que pueden resultar de las interacciones entre sus elementos. Gershenson (2007) señala que, dado que las soluciones teóricas pueden ser difíciles, costosas o tal vez incluso imposibles de implementar, es necesario realizar un estudio piloto antes de efectuar una aplicación completa, con la finalidad de detectar incongruencias y aspectos inesperados entre las etapas de modelado, simulación y aplicación del esquema. De esta manera, es posible realizar los ajustes necesarios de manera enfocada.

En el trabajo presentado por Escobar-Toledo y Martínez-Berumen (2009) se describe una aplicación temprana de la propuesta metodológica presentada en este trabajo. Sin embargo, la evaluación de la efectividad de la propuesta metodológica descrita puede realizarse en el largo plazo únicamente, por lo que no es un objetivo de este proyecto. Como parte del análisis de factibilidad para su implementación, en este capítulo se revisa su aplicabilidad en el Centro Público de Investigación CIATEQ.

Uno de los temas relevantes al considerar la implementación de la propuesta metodológica, es el de la dinámica del cambio organizacional, dado que la implementación podría implicar la necesidad de realizar cambios profundos en la organización. Dichos cambios deberían planificarse y gestionarse como una acción estratégica. En la figura 54 se describe esquemáticamente la dinámica del cambio organizacional: La organización (su gente) se desempeña de acuerdo a un rumbo determinado. Al presentarse un cambio organizacional, la organización mantiene cierta inercia, la cual debe ser vencida para ajustarse a dicho cambio.

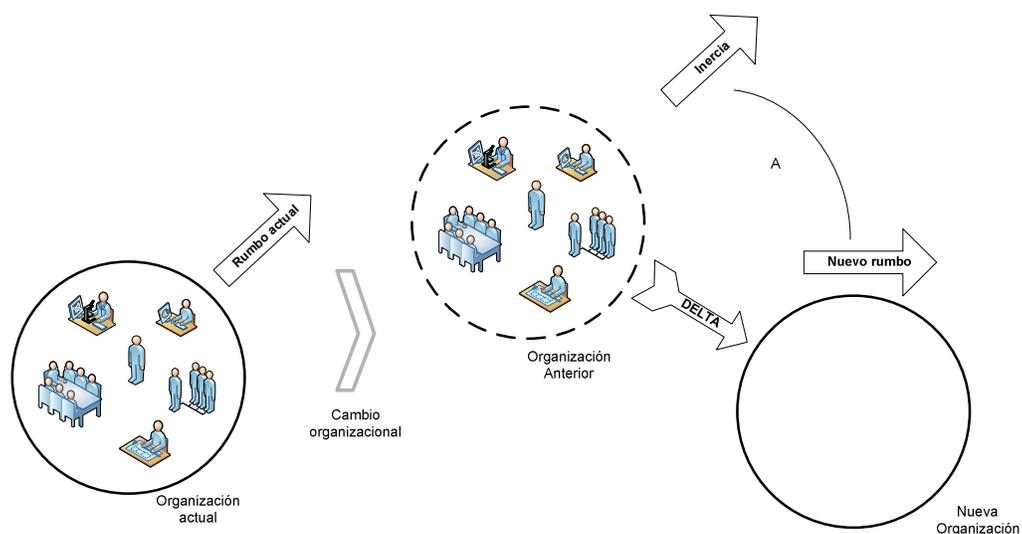


Figura 54. Dinámica del cambio organizacional.

Talcott Parsons (citado por Rifkin, 2011) se refiere a la anterior como una relación Newtoniana entre las fuerzas del cambio y las fuerzas de la continuidad (Barber e Inkeles, 1971). De acuerdo a Parsons, una organización debe generar nuevas ideas e integrarlas en su operación cotidiana, venciendo una fuerza contraria a dicho esfuerzo, a la cual llama “mantenimiento latente del patrón”, por lo que, la búsqueda de un posible equilibrio dinámico entre estas dos fuerzas, es una de las principales funciones de los líderes de la organización (Toms et al., 2011).

Al realizar una transformación organizacional, es necesario considerar de antemano los factores relacionados con la dinámica del cambio (Haines, 2007). De Vreede (1995) señala que los factores relacionados con la transformación organizacional se pueden agrupar en tres áreas principales: 1. Los factores relacionados con el sistema organizacional como un todo, considerando su relación con el entorno. 2. Los factores inherentes a la estructura organizacional y a la interdependencia entre las actividades ejecutadas por la organización, y 3. Los factores relacionados con los procesos de coordinación. A continuación se mencionan algunos de los principales factores relacionados con la dinámica del cambio organizacional, de acuerdo a dicha clasificación:

Factores relacionados con el sistema organizacional y su relación con el medio:

1. Tamaño de la organización.
2. Magnitud del cambio (representado por el ángulo A en la figura 54).
3. Complejidad y esfuerzo requerido para abordar el cambio.

Factores relacionados con la estructura organizacional e interdependencia funcional:

4. Cultura de identificación, análisis y asunción de riesgos.
5. Disponibilidad de la tecnología necesaria para habilitar el cambio.
6. Adaptabilidad y Flexibilidad organizacional (capacidad que tiene una organización para abordar nuevos retos, a partir de su configuración actual). Se ha mencionado que el contar con sistemas robustos de gestión es una ventaja organizacional. Sin embargo, esto también podría ser un factor que incremente la inercia organizacional.

Factores relacionados con los procesos de coordinación:

7. Liderazgo y ejecución de la transformación de acuerdo a un plan sistemático y congruente (Kotter, 1995).
8. Comprensión de los objetivos del cambio por parte del personal (Kotter, 1995).
9. Resistencia al cambio por parte del personal (Haines, 2007).

Considerando los factores 2 y 3 del listado anterior (Magnitud del cambio y Complejidad y esfuerzo requerido para abordarlo), en esta sección se propone un método para valorar la afinidad de una iniciativa de cambio, la cual en este caso se refiere a la implementación del Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones descrito en el capítulo 4, con la finalidad de evaluar su aplicabilidad a la organización de referencia: el CPI CIATEQ. Es importante señalar que el objetivo de esta sección no es describir la estrategia de implementación o de ejecución del cambio organizacional, ya que ello dependerá de la estrategia específica del CPI al momento de ejecutar la implementación.

Por el contrario: el objetivo radica en evaluar la magnitud del cambio a realizar, considerando el estado actual de la organización.

Incidencia de la propuesta metodológica en el Modelo de Operación del CIATEQ.

Como se ha mencionado, el contar con la arquitectura del sistema organizacional es útil en las actividades de transformación organizacional, ya que permite identificar el alcance de los cambios a realizar (Olusola y Namkyu, 2012). En el caso del CIATEQ, dicha arquitectura se describe en su Modelo de Operación orientado a Sistemas y Procesos (Martínez-Berumen, 2007), el cual se compone de ocho sistemas organizacionales, los cuales contienen a la totalidad de funciones que dicho CPI ejecuta. A continuación se resumen las funciones de cada uno de los sistemas organizacionales:

Sistema Directivo (SD).

- Definición del rumbo estratégico de la organización.
- Emisión y gestión de las políticas que regulan la operación de la organización.
- Gestión de las relaciones con los asociados de CIATEQ.
- Actividades de inteligencia organizacional, así como definición y gestión del plan estratégico.
- Definición y gestión de las alianzas estratégicas y la creación de EBTs y ESTs.
- Comunicación corporativa al interior y hacia el exterior.

Sistema de Negocios (SN)

- Planeación y ejecución de las funciones relacionadas con la comercialización de los productos y servicios de la organización; incluyendo las actividades de inteligencia comercial, mercadeo, así como comunicación y relaciones con los clientes.

Sistema de Operaciones (SO)

- Realización de los productos y servicios contratados, incluyendo el respaldo técnico a la comercialización.
- Genera contribución al capital intelectual de la organización, incluyendo la documentación de las lecciones aprendidas.

Sistema de Tecnología (ST)

- Realización de la planeación tecnológica y fomento a la innovación dentro de la organización, para conformar una estructura futura de negocios con base en su capital intelectual.
- Definición y gestión de las líneas temáticas.
- Analiza las tecnologías organizacionales.
- Gestiona el capital intelectual.

Sistema de Calidad (SC)

- Asegura, evalúa y mejora la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.
- Planifica la calidad en la organización.

- Vigila y gestiona el cumplimiento de la normativa para fines de certificación y acreditamiento.

Sistema de Información (SI)

- Planea las tecnologías de información del centro, incluyendo el análisis de las necesidades futuras.
- Opera y mantiene las tecnologías de información institucionales.

Sistema de Recursos Humanos (SRH)

- Administra los recursos humanos, incluyendo la coordinación de las evaluaciones de desempeño, la planificación del desarrollo del personal y la gestión del clima y cultura organizacionales.

Sistema de Recursos (SR)

- Administra los recursos materiales y financieros del Centro.
- Presupuesta, aplica y controla los recursos financieros
- Planea, adquiere, resguarda y da mantenimiento a los recursos materiales e infraestructura.

La tabla 11 muestra la incidencia de las actividades de la propuesta metodológica en el Modelo de Operación de CIATEQ. Se representa con una “X” el sistema organizacional cuyas funciones se relacionan con cada una de las actividades de la propuesta metodológica. Como puede apreciarse, la ejecución de algunas actividades se relaciona con las funciones de más de un sistema organizacional.

**Tabla 11: Incidencia de las actividades de la propuesta metodológica en los sistemas organizacionales del CPI CIATEQ
(elaboración propia)**

Nombre	Clave	SD	SN	SO	ST	SC	SI	SRH	SR
Inteligencia de mercados	InMerc		X						
Política tecnológica	PolTec	X	X		X				
Capacidades tecnológicas	CapTec			X	X				
Estado del Arte	EsArt			X	X				
Identificar alternativas tecnológicas	IATec			X	X				
Análisis del entorno	AnEnt		X		X				
Flujo de conocimiento y gradiente tecnológico	FluCo				X				
Caracterizar al modelo de operación	ModOp	X				X			
Inteligencia Tecnológica	InTec		X		X				
Actividades de Innovación	ActIn				X				
Recursos Humanos	ReHum				X			X	
Recursos necesarios vs. disponibles	Ev Delta Recs	X		X	X				X
Métodos multicriterio	MCDA	X	X	X	X				
Dinámica de sistemas	DinSist	X	X	X	X				
Evaluación de la entropía del sistema de apoyo a la toma de decisiones	Entr	X					X		
Interacciones por sistema		6	6	6	12	1	1	1	1

Con la finalidad de evaluar su aplicabilidad, se propone valorar cada una de las actividades de la propuesta metodológica de acuerdo a los siguientes criterios:

1. ¿La actividad está descrita en el capital estructural del CPI?
2. ¿La actividad se ejecuta actualmente en la organización?
3. ¿Existe actualmente un rol organizacional que pueda asumir esta función?
4. Evaluación de la inversión económica que la organización tendría que realizar para habilitar la ejecución de las actividades. Se refiere a nuevas inversiones (por ejemplo compra de software, inscripción a bases de datos, consultoría para integración de software o sistemas informáticos o entrenamiento (capacitación) en metodologías o

herramientas). No se incluye el costo de operar la metodología (sueldos, pago de derechos por uso de bases de datos o mantenimiento de infraestructura, entre otros).

La tabla 12 resume los cuatro criterios a utilizar para evaluar la aplicabilidad de la iniciativa, así como los tres niveles de cada criterio.

**Tabla 12: Criterios para evaluar la aplicabilidad
(elaboración propia)**

Criterio	Descripción / Niveles
Consid	<p><u>Descripción:</u> ¿La función se encuentra en el capital estructural de la organización, descrita algún proceso, procedimiento o instructivo?</p> <p>Nivel 3: La actividad es la misma.</p> <p>Nivel 2: La actividad es similar, pero se puede adaptar.</p> <p>Nivel 1: La actividad no está considerada actualmente.</p>
Ejec	<p><u>Descripción:</u> ¿La actividad se realiza actualmente?</p> <p>Nivel 3: La actividad se realiza actualmente;</p> <p>Nivel 2: Actualmente se realiza una actividad similar, la cual se puede ajustar para incluir la propuesta;</p> <p>Nivel 1: La actividad no se realiza actualmente</p>
Rol	<p><u>Descripción:</u> ¿Existe un rol en la organización que pueda asumir la función?</p> <p>Nivel 3: Si existe un rol relacionado directamente con estas actividades.</p> <p>Nivel 2: Existe un rol organizacional que realiza actividades semejantes, por lo que podría complementarse con las actividades propuestas.</p> <p>Nivel 1: No existe un rol organizacional que realice actividades semejantes a esta.</p>
Inv	<p><u>Descripción:</u> Monto de la inversión que la organización tendría que realizar para habilitar la ejecución de las funciones.</p> <p>Nivel 3: Inversión baja (la actividad puede realizarse con los recursos disponibles).</p> <p>Nivel 2: Inversión media (se requiere capacitación o adquirir software especializado, o accesos a bases de datos)</p> <p>Nivel 1: Inversión alta (se requiere capacitación a varios niveles y/o adquirir software especializado y/o adquirir acceso a bases de datos especializadas).</p>

En la tabla 13 se presenta la evaluación de cada actividad de la propuesta metodológica, de acuerdo a los criterios descritos. Asimismo, se indica el valor Φ para cada actividad.

La evaluación presentada en la tabla 13 debería revisarse por el grupo de trabajo designado por el CPI para trabajar con las iniciativas de cambio.

Tabla 13: Evaluación de los criterios de aplicabilidad y flujo neto de preferencia (Φ) considerando el mismo peso para todos los criterios (elaboración propia)

	Consid	Ejec	Rol	Inv	Φ
InMerc	3	2	3	1	0.0769
PolTec	2	2	2	3	0.0769
CapTec	2	2	2	2	-0.0577
AnEnt	2	2	2	2	-0.0577
EsArt	2	2	2	2	-0.0577
IATec	3	3	3	3	0.4808
FluCo	1	1	2	2	-0.3269
ModOp	2	2	2	3	0.0769
InTec	3	2	3	2	0.2115
ActIn	3	2	3	3	0.3462
ReHum	3	2	2	2	0.0769
MCDA	2	1	3	1	-0.1923
DinSist	1	1	3	1	-0.3269
Entr	1	1	1	3	-0.3269

Considerando a la propuesta metodológica como una unidad que contiene a todas las actividades señaladas en la tabla 13, se encuentra que los roles con que la organización cuenta actualmente pueden abordar aproximadamente el 78.57% de las actividades de la propuesta metodológica, asimismo, alrededor del 71.43% de dichas actividades están descritas en el modelo de operación actual, mientras que aproximadamente el 59.52% de las actividades ya se ejecutan en la organización. En cuanto a la inversión: 35.71% de las actividades pueden ejecutarse con los recursos disponibles actualmente, mientras que 42.86% de las actividades requieren una inversión moderada, y 21.43% de las actividades requieren una inversión alta para poder ejecutarse en la organización.

La figura 55 muestra el valor phi de cada una de las actividades. Considerando esta información, es posible identificar las prioridades a desarrollar, tomando en cuenta la estrategia de la organización.

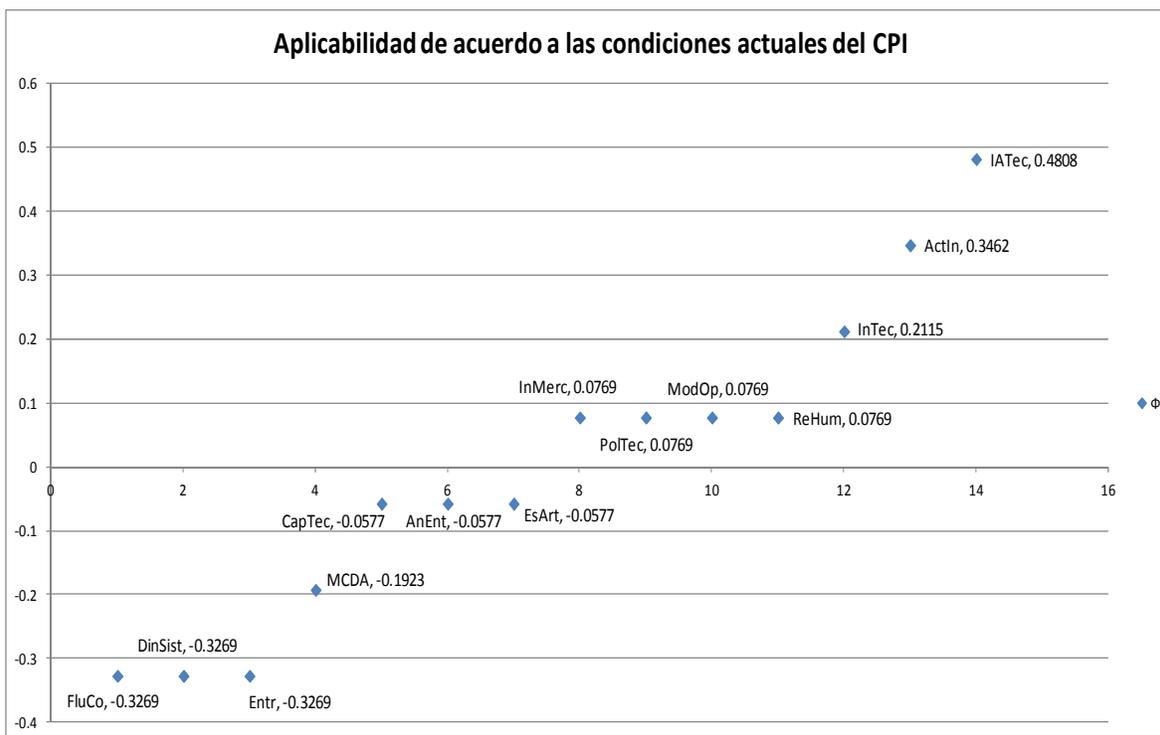


Figura 55. Potencial de aplicabilidad de las actividades de la propuesta metodológica, en el estado actual del CPI. (elaboración propia)

Es importante notar que los valores presentados en la figura 55 se obtienen cuando los cuatro criterios tienen la misma ponderación, la cual puede modificarse según se considere adecuado. Uno de los beneficios de utilizar el software DecisionLab® para realizar esta evaluación, es la posibilidad de variar los parámetros considerados, facilitando la toma de decisiones acerca de cuáles actividades deben fortalecerse.

La figura 56 muestra el plano GAIA, en donde se aprecia la posición relativa de cada una de las actividades con respecto a los criterios establecidos. Por ejemplo en el caso de la actividad “Entr”: no se requiere inversión, dado que puede realizarse con los recursos actualmente disponibles, sin embargo, se encuentra en un nivel muy bajo en el resto de los criterios, es decir: esta actividad no se encuentra descrita en ningún elemento del capital estructural, ni se cuenta con algún rol que la ejecute como parte de sus actividades.

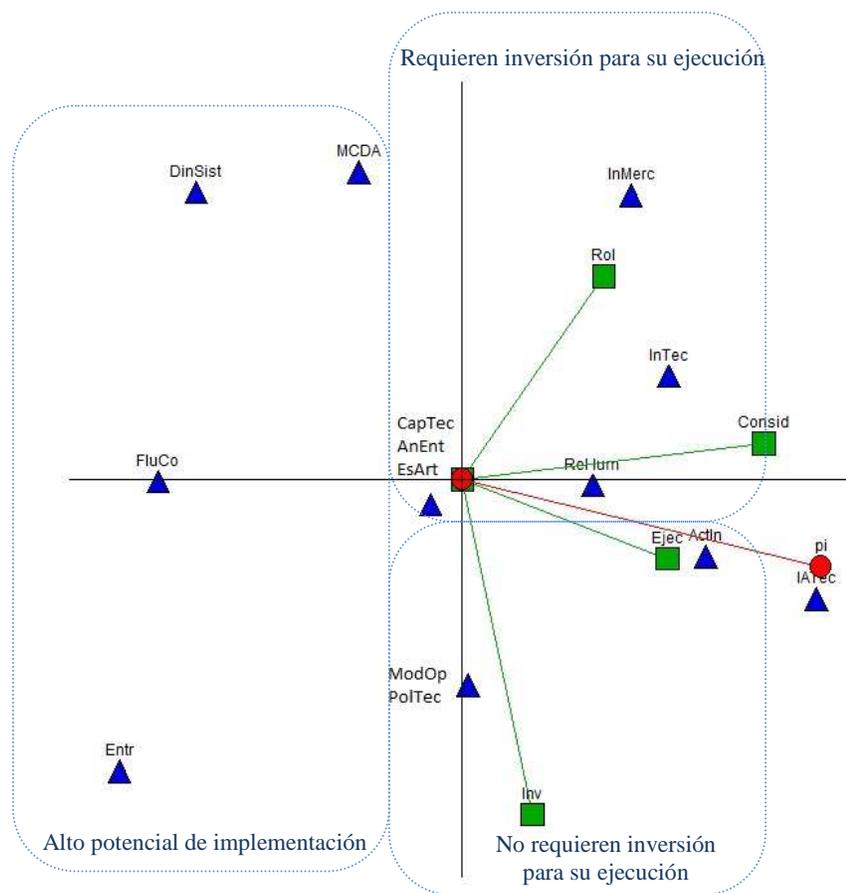


Figura 56. Plano GAIA.
(elaboración propia)

En la figura 56, se han agrupado las actividades de la propuesta metodológica en tres grupos principales: 1. Aquellas actividades cuya implementación representa un alto potencial de mejora para la organización, dado que actualmente no se ejecutan en la organización, 2. Aquellas actividades que ya se ejecutan en el CPI en mayor o menor grado, pero que requieren una mayor inversión para ejecutarse de acuerdo a lo propuesto en este trabajo, y 3. Actividades que ya se ejecutan en mayor o menor grado en la organización, y que no requieren mayor inversión para ejecutarse como se propone en este trabajo.

Considerando la información revisada, se concluye que la propuesta metodológica es aplicable al CPI CIATEQ, dado que las actividades de dicha propuesta son afines a las funciones del Modelo de Operación actual de este CPI, además de que la organización cuenta actualmente con roles en cuyas funciones es posible integrar las actividades consideradas en la propuesta metodológica. Asimismo, es posible desarrollar un plan gradual de inversión, con la finalidad de abordar los costos necesarios para implementar la propuesta metodológica, de acuerdo a la estrategia del CPI.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

A continuación se presentan las principales conclusiones del proyecto. Asimismo, se delinean las principales líneas de trabajo futuro mediante las cuales se podría dar continuidad a los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación.

6.1 Conclusiones

Con la finalidad de abordar los complejos retos a los que el país se enfrenta en materia científica y tecnológica, es necesario reformular el diseño institucional de la Ciencia y la Tecnología en México. En específico, es necesario crear una Secretaría de Estado que se encargue de definir la política nacional y coordinar las acciones relacionadas con la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. De esa manera, será posible lograr la operatividad del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, ya que permitiría coordinar y homologar las agendas de los actores involucrados en los órdenes de gobierno federal, estatal y municipal, regulando efectivamente las interacciones y creando sinergia entre ellos.

Dicha Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, tendría facultades suficientes para dar coherencia a las iniciativas relacionadas con estos rubros, así como de diseñar y operar una estrategia nacional a largo plazo, que integre armónicamente a la investigación básica con la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación en todas las disciplinas del conocimiento.

Otro de los temas que requieren revisarse con mayor prioridad, es el de desarrollar un método para evaluar el desempeño de los Centros Públicos de Investigación, para asegurar el cumplimiento de su propósito fundamental para generar y transferir conocimiento. Como se ha expuesto en este trabajo, para lograr dichos objetivos, el gobierno debe involucrarse activamente en el tema, estableciendo políticas y criterios que regulen la asignación de recursos a los CPIs, y que promuevan su actuar en el mercado, respetando su autonomía.

La investigación básica y aplicada producen resultados a largo plazo, por lo que fomentar y apoyar estas actividades debe considerarse como una acción estratégica para el país. Si adicionalmente se considera que a sus resultados se les atribuye el carácter de bien colectivo, debe impedirse que dichas actividades respondan a las fuerzas del mercado únicamente, ya que esto podría promover una inadecuada provisión de recursos, ocasionando un retraso en el desarrollo general del país. Además, estas actividades deben considerarse como parte sustancial de la estrategia de México para abordar los complejos retos socio-económicos que enfrenta actualmente.

Si bien debe fomentarse la vinculación de los CPIs con el mercado, es necesario considerar que los riesgos implícitos en las actividades relacionados con la ciencia, la tecnología y la innovación, generan las llamadas “fallas de mercado”, las cuales radican en que el conocimiento no es completamente apropiable, y los resultados de las inversiones en ciencia y tecnología suelen reflejarse en el largo plazo. El someter al CPI a la presión del mercado únicamente, podría generar desviaciones en el logro de su propósito fundamental, debido a que el objetivo de generar conocimiento suele contraponerse con el objetivo de generar ganancias económicas en el corto plazo.

La innovación es una actividad crítica para cualquier organización. En la literatura internacional se encuentran una gran cantidad de trabajos de investigación que buscan identificar nuevos esquemas organizacionales que promuevan la innovación en las organizaciones tecnológicas, como “una estupenda opción para incrementar la riqueza nacional sin desequilibrar los indicadores de la macroeconomía, y mejorar, al mismo tiempo, el intercambio comercial con el exterior” (Fernández-Zayas, 2002).

Una oportunidad adicional de mejora radica en la integración de los CPIs de las diferentes disciplinas. Como se ha mencionado, la investigación interdisciplinar es una base importante para la innovación (García, 2006), ya que, a diferencia de la investigación disciplinar incremental, la primera permite dar saltos cualitativos en el conocimiento, los cuales son precursores de la innovación. En este sentido, los CPIs tienen la oportunidad de integrarse en un círculo virtuoso de colaboración en varios niveles: con la industria, con las universidades y con otros centros de investigación,

públicos y privados, así como con otras instituciones de investigación a nivel internacional.

La interdisciplinariedad surge a partir de la necesidad de abordar problemas complejos, que por su naturaleza requieren de la participación de diversas disciplinas y especialidades (Ruiz, et al., 2010). Una dificultad esencial en la investigación interdisciplinar es “la existencia de murallas ideológicas entre las disciplinas establecidas, las cuales se han ido creando a través de la especialización, lo que hace muy complicado el flujo de ideas entre ellas” (San Miguel, 2003). La propuesta metodológica presentada en este proyecto tiene el objetivo de proporcionar una estructura y marco de referencia para la integración de diversas disciplinas de las ciencias de la ingeniería, así como de las ciencias sociales y administrativas, para contribuir al problema de la mejora de la competitividad de un Centro Público de Investigación, el cual debe atender necesidades y demandas cada vez más especializadas y complejas de los sectores a los cuales sirve.

Es por ello que un esquema como el presentado en este trabajo, que mediante un enfoque sistémico considere el desarrollo de los principales aspectos tecnológicos relacionados a un centro de I+D, así como la previsión de los riesgos inherentes a estas actividades, puede ser adecuado para promover y desarrollar la innovación a todos niveles. Si bien la propuesta metodológica presentada en este trabajo se dirige en primera instancia a los Centros Públicos del CONACYT orientados al Desarrollo Tecnológico, es lo suficientemente flexible como para poder ser adaptada al quehacer de los CPIs relacionados con otras áreas del conocimiento.

El éxito de una organización depende de la alineación que todos los elementos organizacionales guarden con la estrategia general, además de su capacidad para abordar el cambio, el cual es la única constante en las organizaciones, y que puede originarse debido a aspectos tan diversos tales como la dinámica del mercado, reorganizaciones, exploración de mercados internacionales, o cambios en el entorno tecnológico. La arquitectura organizacional debe ser lo suficientemente adaptable y flexible para permitir y facilitar dichos cambios. Debe contarse con un plan de desarrollo que tome en cuenta que se trata de organizaciones vivas, soportándose con un plan de transición gradual y a largo plazo, que tome en cuenta la disponibilidad de recursos y la participación del factor humano.

Además, la efectividad de la transformación organizacional depende en buena parte del nivel de conocimiento que se tenga sobre la organización. El tener un mapa completo de sus funciones e interacciones es una herramienta útil para asegurar que los cambios se alineen con la estrategia organizacional.

Es por ello que, de acuerdo a lo descrito en este trabajo, los Centros de I+D pueden beneficiarse al integrar conceptos de la Teoría de Sistemas y la Ingeniería de Sistemas como parte de su modelo de operación, dado que pueden ser de utilidad para gestionar la complejidad del CPI y lograr una alineación estratégica de sus funciones. Además, la Ingeniería de Sistemas Organizacionales puede ser de utilidad al integrar diferentes sistemas normalizados de gestión en el modelo de operación del CPI. Adicionalmente, el concebir a un CPI con un enfoque de sistemas permite evaluar la aplicabilidad de nuevos

esquemas organizacionales, como una manera de apuntalar las iniciativas estratégicas de cambio organizacional, posibilitando la evolución organizacional y la implementación de nuevas funciones que no estaban descritas anteriormente.

Las nuevas tecnologías requieren de importantes esfuerzos para su desarrollo, por lo que es necesario establecer prioridades para asignar los limitados recursos con que un CPI cuenta. Asimismo, además de incrementar la inversión del país en estas actividades, es necesario asegurar que los recursos disponibles se asignen a actividades con un alto valor de retorno social o económico, ya que “el incremento de la inversión en investigación y desarrollo no tiene ninguna razón de ser a menos que, peso por peso, dicha inversión tenga una razonable expectativa de beneficio generalizado para la población mexicana” (Fernández Zayas, 2002a). El objetivo de la propuesta metodológica presentada en este trabajo es proporcionar un marco de referencia para que el CPI logre estos objetivos.

El fomento a la investigación y desarrollo es una inversión en la prevención (UNAM – IIDC, 2011), ya que se generan oportunidades valiosas de desarrollo, que redundan en el progreso sustentable de las comunidades. De acuerdo a Loyola y Paredes (2008) “México puede situarse entre las cinco economías más importantes del mundo, a condición de que se coloque a la ciencia, a la innovación y a la transferencia de conocimientos con sentido social y humanístico en el eje central de las políticas públicas”. México puede obtener un beneficio consistente a partir de la Investigación y Desarrollo, al comprometerse con el desarrollo de una política pública, sustentada en un plan nacional de desarrollo, que trascienda en el tiempo y proporcione una guía y

directrices acerca de las prioridades, y que asigne suficientes recursos para el desarrollo en dichas áreas de prioridad.

Uno de los objetivos de este proyecto ha sido contribuir a la discusión acerca de la formalización de las metodologías de los proyectos de investigación en Ingeniería de Sistemas. Respecto a ello, es importante no perder de vista que cualquier proyecto de investigación nace de la creatividad, y como tal, es una forma de actividad artística, a la cual se añade un elevado nivel de competencia técnica (Joliot, 2004). Para asegurar un crecimiento sostenido de la disciplina, es necesario permitir y asegurar el libre flujo de creatividad en la investigación en Ingeniería de Sistemas.

En el Capítulo 1 se mencionó que la hipótesis sobre la que se ha fundamentado este proyecto consiste en “que es posible desarrollar el esquema mencionado, aplicable en Centros Públicos de Investigación, para apoyar la toma de decisiones en tecnologías, identificando y controlando los aspectos que contribuyen a desordenar dicha actividad”. Se considera que dicha hipótesis puede confirmarse a partir de los resultados presentados en los Capítulos 4 y 5 de este trabajo.

6.2 Trabajo Futuro

"Una obra nunca se termina, solo se abandona"
Leonardo Da Vinci

A lo largo del desarrollo de este proyecto se han presentado diversos temas de investigación que se considera interesante abordar posteriormente. A continuación se enlistan los más relevantes:

- Continuar estudiando la aplicación de la teoría de sistemas complejos en organizaciones relacionadas con actividades de Investigación y Desarrollo, con la finalidad de continuar desarrollando metodologías que, partiendo de la conceptualización de un Centro de I+D como un sistema complejo, sean útiles para ordenar el trabajo interdisciplinario en estas instituciones.
- Continuar investigando el concepto de entropía organizacional del CPI, específicamente el caso de las transformaciones organizacionales de este tipo de organizaciones. Se plantea investigar si el concepto de entropía organizacional puede utilizarse para identificar y prevenir variaciones del desempeño organizacional.
- Investigar la forma en la que los aspectos tales como motivación, compromiso, liderazgo y afinidad con los valores organizacionales, entre otros, pueden explicitarse e integrarse en el esquema descrito en este trabajo, como un factor importante para potenciar la competitividad del centro de I+D.

- Considerando al CPI como un sistema social, se plantea investigar los aspectos relacionados con la cooperación y colaboración humana, específicamente la manera como se integran los recursos humanos para establecer y lograr los objetivos del CPI.
- Continuar trabajando en la investigación y análisis del fundamento epistemológico y las metodologías utilizadas en la investigación en Ingeniería de Sistemas, promoviendo la integración y flujo de conocimiento entre diferentes disciplinas que aplican el enfoque de sistemas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DOCUMENTALES.

Abetti, Pier, "Linking Technology and Business Strategy", 1989, The Presidents Assoc.

Ackoff, Russell L. (2001). A brief guide to interactive planning and idealized design. Linkoping University. Disponible en línea: [http://www.ida.liu.se/~steho/und/htdd01/AckoffGuidetoIdealizedRedesign.pdf]

Ackoff, R.L., (1970). A concept of corporate planning. John Wiley & Sons, E.U.A.

Ackoff, Russell L. (1981), Creating the Corporate Future. Wiley&Sons Inc.

Acosta Flores, Jesús, et al., Ingeniería de Sistemas, México, Ed. Alfaomega - UNAM, 2002, 194 p.

ADIAT (Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico). Prospectiva Tecnológica Industrial de México 2002-2015. (Sector 2: Energía).

Adner, Ron, A Demand-Based View of Technology Life Cycles, Insead, 2003

Aguilar, F.J. (1967), Scanning the Business Environment, Macmillan, New York, NY.

Aharoni, Y., Maimon, Z., & Segev, E. (1978) Performance and autonomy in organizations: Determining dominant environmental components. Management Science, 24: 949-959.

Alberts, David y Hayes, Richard. "Planning : complex endeavors", 2007, DoD Command and Control Research Program

Alcorn, P.A., Social issues in technology - a format for investigation (4th ed), Prentice-Hall, New Jersey (2003).

Aldana-Franco, R., Gutiérrez –García, A. y Contreras, C.M. (2011). ¿Es tan caótico el Caos? Ciencia. Abril-Junio 2011. pp. 68-75

Arthur D. Little. 1981. The Strategic management of technology. Arthur D. Little, Cambridge, Mass. 178 p.

Ashby, W. R., (1956). An Introduction to Cybernetics, (Chapman & Hall, London).

Assefa G. A systematic approach for technology assessment: by combining material flow analysis, life cycle assessment and life cycle costing. Licentiate thesis. Stockholm: Division of Industrial Ecology, Department of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, February 2003.

Badillo, I. & Orduñez, E., The entropy in organisations. Paper of the ISSS 2003, 47th Annual Meeting.

Bailey, Kenneth, 2001, Entropy Systems Theory, in Systems Science and Cybernetics, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, [<http://www.eolss.net>]

Baquero J., & Hernández H., (2008). Articulación dinámica de la gestión de conocimiento con el proceso de innovación en la creación de valor: orientando la arquitectura informática. In Proceedings 3er. Simposio Iberoamericano en Comunicación del Conocimiento y Conferencias (CCC 2008), en el contexto de la 7a. Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI 2008). Orlando U.S.A.

Baquero-Herrera, F., Hernández-Rojo, H., Lizardi-Nieto, V., 2008. Las redes de conocimiento como un elemento acelerador para propiciar la innovación tecnológica en

Centros Públicos de I+DT, In Proceedings Conferencia Gestión del Conocimiento y la Tecnología (Knowledge and Technology Management Conference), GECyT 2008, La Habana, Cuba.

Bazua Rueda, E. (1992). Bases termodinámicas para el uso eficiente de energía. Universidad Nacional Autónoma de México.

Barber, B., Inkeles, A. (Eds.). (1971). Stability and social change: A volume in honor of Talcott Parsons. Boston, MA: Little, Brown.

Bean, Alden S. (1995) Why some R&D organizations are more productive than others. Research Technology Management, Jan/Feb95, Vol. 38 Issue 1, p25.

Beer, S. (1972). Brain of the Firm; Allen Lane, The Penguin Press, London, Herder and Herder, USA.

Beer, S. (1979). The Heart of Enterprise; John Wiley, London and New York. (Discussion of VSM applied)

Beer, S. (1985). Diagnosing the System for Organizations; John Wiley, London and New York.

Belton, V. and Stewart, T. J., (2002), Multiple Criteria Decision Analysis: An integrated approach. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Ben-Naim, Arieh., (2008). Entropy demystified. World Scientific, Singapur, 223p.

Bent, Henry A. (1965) The second Law. Oxford University Press.

Bititci, Umit S., et al, "Creating and managing value in collaborative networks", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2004, Vol. 34, No. 3/4, pp. 251 - 268

Blanchard, Benjamin S. y Wolter J. Fabrycky, *Systems Engineering and Analysis*, 3a. ed., E.U.A., Ed. Prentice Hall, 1998 (c 1998) 738 p.

Boltzmann, L., (1877). *Bermerkungen über einige Probleme der mechanische Wärmetheorie*, *Wiener Berichte*, 75: 62–100.

Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G., (1999). *Swarm intelligence: from natural to artificial systems*, Oxford University Press, USA; 1 edition.

Boston Consulting Group. 1982. *Les mecanismos fondamentaux de la competitivité*. Editions Hommes et Techniques, París. 97 p.

Bourgeois, L. J., III. (1985) Strategic goals, perceived uncertainty, and economic performance in volatile environments. *Academy of Management Journal*, 28: 548-573.

Bourgeois, L. J., III, & Brodwin, D. R. 1984. Strategic implementation: Five approaches to an elusive phenomenon. *Strategic Management Journal*, 5: 241-264.

Bourgeois, L. J., III, y Eisenhardt, K. M. 1988. Strategic decision processes in high velocity environments: Four cases in the microcomputer industry. *Management Science*, 34: 816-835.

Bouyssou, D., (2009). *Encyclopedia of Optimization*, ed. Floudas, C. A. and Pardalos, P. M. "Outranking methods". (Springer U.S.A.) pp. 2887-2893

Brans, J.P. and Mareschal, B. [2005]. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys, ed. Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M., Chapter 5, "Promethee Methods". (Springer Science + Business Media, Inc. U.S.A.) pp. 163–195.

Brans Jean-Pierre and Bertrand Mareschal (2002). PROMÉTHÉE-GAIA Une méthodologie d'aide à la decision en presence de critères multiples. Editions de l'Université Libre de Bruxelles.

Brans, J.P. y Mareschal, B. (1994) How to Decide with PROMETHEE. ULB and VUB Brussels Free Universities.

Brans, J.P., Macharis, C., Kunsch, P.L., Chevalier, A., Schwaninger, M., (1998) "Combining multicriteria decision aid and system dynamics for the control of socio-economic processes. An iterative real-time procedure", European Journal of Operational Research 109, , pp. 428-441.

Brans, J.P and Mareschal, B. (1992). The PROMÉTHÉE – V MCDM problems with segmentation constraints. INFORMS, 30(2): 85-96

Brans J.P. B. Mareschal et al (1984). PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriterio analysis. Operational Research '84; 477-490

Brillouin, Leon, (1962) Science and Information Theory (Academic Press, 1962) (Dover, 2004).

Brillouin, L. (1953) Negentropy principle of information. J. Appl. Phys., 24, 1152–1163.

Brown, Samantha, (2009). Naivety in Systems Engineering Research: are we putting the methodological cart before the philosophical horse?. Technical Proceedings of the 2009 Conference on Systems Engineering Research (Loughborough, U.K., April 20-23, 2009). Loughborough University, UK.

Bunge, Mario, La investigación científica, Siglo XXI editores, México, 2007.

Cabana, Kevin, et al, "Enterprise Systems Engineering Theory and Practice. Volume 9: Enterprise Research and Development (Agile Functionality for Decision Superiority)", Feb. 2006. The MITRE Corporation. Center for Air Force C2 Systems, Bedford, MA

Cabrero Mendoza, Enrique; Valadés, Diego y López-Ayllón, Sergio. (2006). El diseño institucional de la política de ciencia y tecnología en México. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. México.

Casas, R., Dettmer, J., Celis, L. y Hernández, C., (2007) Redes y flujos de conocimiento en la acuicultura mexicana. Redes, vol. 13, No. 26. pp. 111-144.

Chapman, Judith, "Anxiety and defective decision making: an elaboration of the groupthink model", Journal: Management Decision, 2006, Vol. 44, No. 10, pp. 1391 - 1404

Choo, C.W. (1996) "The knowing organization: how organizations use information to construct meaning, create knowledge and make decisions", International Journal of Information Management, Vol. 16 No. 5, pp. 329-40

Chrissis, M.B., Konrad, M., Shrum, S. (2009) CMMI, Guía para la integración de procesos y la mejora de productos. Pearson Educación, España.

Clark, T. D. and Jones, M. C., (2008). An experimental analysis of the dynamic structure and behavior of managerial support systems, Systems Dynamics Review 24, 215–245.

CIATEQ, A.C. (2008). 30 años al servicio de la industria. México.

Clausius, R. (1850). "Über die bewegende Kraft der Wärme". Annalen der Physik und Chemie. 155:3 pp.368-397.

Clausius, R., (1865). Ueber verschieden fuer die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Waermetheorie. *Annalen der Physik und Chemie*. 200:3. pp. 353-400.

Clayton, R.; Kennedy, G. A. L.; Siemieniuch, C. E. (2007) "How 'cultural attributes' of a system could influence the potential for autonomous behavior", Conference on Autonomous Systems, Institution of Engineering and Technology, Nov. 2007 Page(s):1 - 7

Comstock, Gilbert L., et. al, (1999) "Aligning and Prioritizing Corporate R&D", Research-Technology Management, Volume 42, Number 3, 1 May 1999 , pp. 19-25.

CONACYT. (2011a). Informe general del estado de la Ciencia y la Tecnología 2010. México.

CONACYT. (2011). "Acerca del CONACYT". (Revisado: 05.Jun.11) [<http://www.conacyt.gob.mx/Acerca/Paginas/default.aspx>]

CONACYT. (2006). El Sistema de Centros de Investigación CONACYT, México.

CONACYT (1998). Historia de las Instituciones del Sistema SEP-Conacyt. México.

Córdoba, J.R., (2009). Critical reflection in planning information systems: a contribution from critical systems thinking, *Info Systems J* , 19, 123–147.

Cornella, A. (2000). Infonomia.com. La empresa es información. España: Deusto.

Corning, P.A. (1995). Synergy and self organization in the evolution of complex systems. *Systems Research* 12(2):89-121.

Cummins, Fred A. (2002). Enterprise Integration - An Architecture for Enterprise Application and Systems Integration. John Wiley & Sons.

Cunningham, Scott y van der Lei, Telli, “Decision-Making for New Technology: A Multi-Actor, Multi-Objective Method”, 2007, PICMET 2007 Proceedings, 5-9 August, Portland, Oregon – USA.

Daedalus, “Que es la Ingeniería de Sistemas”, (Accessed: 09 Sep, 2009). <http://www.daedalus.es/inteligencia-de-negocio/sistemas-complejos/ingenieria-de-sistemas/que-es-la-ingenieria-de-sistemas/>

Daenzer, W.F., Huber, F.; Systems Engineering: Methodik und Praxis; 11a. ed., Suiza, Ed. Industrielle Organisation, 2002 (c 1999), 845 p.

Daft, R. L., Sormunen, J., y Parks, D. 1988. Chief executive scanning, environmental characteristics, and company performance: An empirical study. *Strategic Management Journal*, 9: 129-139.

Davenport, T. (1999). *Ecología de la Información. Porqué la tecnología no es suficiente para lograr el éxito en la era de la información.* México: Oxford.

de Vreede, Gert-Jan. (1995). *Facilitating Organizational Change.* Tesis Doctoral. Delft University of Technology. Holanda.

Dean, J.W., Sharfman, M.P., (1996) Does Decision Process matter? A study of strategic decision making effectiveness. *Academy of Management Journal*. Vol. 39, No. 2, 368-396.

Dean, J. N., M, P Sharfman. (1993) Procedural rationality in the strategic decision making process. *J. Management Stud.* 30. 607-630.

Decanio, S. J. Y Watkins, W. E. (1998). Information processing and organizational structure. *Journal of Economic Behavior and Organization* 36 (3): 275–294.

Diakoulaki, Danae, Grafakos, Stelios. (2004) "Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications. Multicriteria Analysis", National Technical University, Athens, Greece.

Drucker Colín, René. (2008, 11 de julio), en: "México carece de política científica". BBC Estudio Abierto. Recuperado el 12 de julio de 2008, de [http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_7466000/7466360.stm]

Drucker, P.F. (1967), "The effective decision", Harvard Business Review, Vol. 45, Enero-Febrero, pp. 92-98

Dubois, C.P.R., "The information audit: its contribution to decision making", Journal of Library Management, Vol. 16, No. 7, pp. 20 - 24

Duncan, R.B., "Characteristics of organizational environment and perceived environmental uncertainty", Administrative Science Quarterly, 1972, Vol. 17 No. 3, pp. 313-27

Ebeling, Werner y Volkenstein, Michail. (1990). Entropy and the evolution of biological information. Physica A 163, 398-402.

ECSS (European Cooperation for Space Standardization). (2004). System engineering — Part 1: Requirements and process. ECSS Secretariat. Requirements & Standards Division. Noordwijk, The Netherlands.

Einstein, A., (1905). Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. Annalen der Physik. 322:8. pp 549-560.

Eisenhardt, K. M., & Bourgeois, L. J., III. (1988) Politics of strategic decision making in highvelocity environments: Towards a midrange theory. Academy of Management Journal, 31: 737-770.

ESA (European Space Agency). (2009). Why is Systems Engineering important? Consultado en: [http://www.esa.int/esaMI/Space_Engineering/SEM43YUHYXF_0.html]

Escobar-Toledo, C.E., Kunsch, P. (2007) How to set priorities in R&D programmes for developing more efficient energy systems in Mexico: The case of gas to liquids versus other technologies. RED-M 2007, Culiacán, Sinaloa, México, 5-8 de noviembre de 2007.

Escobar Toledo, Carlos, (2001). “Análisis estratégicos”, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 415 p.

Escobar Toledo, Carlos E. (2002), Apuntes de clase de Teoría de Sistemas. Universidad Nacional Autónoma de México.

Escobar-Toledo, C., (2009). “El acceso a una nueva tecnología: la utilización de un modelo de análisis jerárquico multicriterio”, Universidad Nacional Autónoma de México.

Escobar-Toledo, Carlos E., Martínez-Berumen, Héctor A. (2011) “Strategic development of a Decision Making Support System in a Public R&D Center”. International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST). Vol. 3, No. 2, pp. 32 -43.

Escobar-Toledo, Carlos, Martínez-Berumen, Héctor A., (2009) “Technological Aspects of an R&D Centre using the Systems Approach: A Multicriteria decision making aid”. En memorias 70th meeting of the European Working Group “Multiple Criteria Decision Aiding”, Moncton, New-Brunswick, Canadá.

Escobar-Toledo C.E., López-García, B. (2005) The use of Multicriteria Decision Aid System in the Information Technology (IT) allocation problema. Operational Research. An International Journal. Vol. 5, No. 2, pp. 223-240.

Escobar,T.C., Esparza, F.E., Puente,L., Uquillas,D. (1990). “Modelos para la Jerarquización y selección óptima de proyectos de investigación y desarrollo Tecnológico”. Ciencia Ed. (IMIQ), 5(1), 45-61.

Escorsa, P. & Puerta, E. de la. (1991). La Estrategia tecnológica de la Empresa: una visión de conjunto. Economía Industrial. N° 281, 1991, págs. 93-107.

Escorsa, Pere y Jaume Valls, Tecnología e innovación en la empresa, 2a. ed., México, Ed. Alfaomega, 2005 (c 2005), 341 p.

European Commission, 1995. Green Paper on Innovation.

Fernández-Rañada, Antonio, Los muchos rostros de la ciencia. Fondo de Cultura Económica, México, 2003.

Fernández Zayas, José Luis, (2008) Intervención durante el foro "Tecnología e investigación científica en el campo petrolero", realizado en el Senado de la República de los Estados Unidos Mexicanos, el 03 de Julio del 2008.

Fernández Zayas, José Luis, (2007) Entrevistado en: “Buscan sumar Innovación a la Ley de CyT”. Investigación y Desarrollo. 30 de Agosto 2007. Consultado en [<http://www.invdes.com.mx/suplemento-noticias/655-buscan-sumar-innovacion-a-la-ley-de-cyt>]

Fernández Zayas, José Luis, (2002) “Es el momento de aprovechar la capacidad de innovación e investigación de la Ingeniería Mexicana”. Documento de trabajo. Consultado en [<http://www.jlfz.org/articulos/index.html>]

Fernández Zayas, José Luis, (2002a) “El valor de la investigación”. Consultado en [<http://www.jlfz.org/articulos/index.html>]

Fernández Zayas, José Luis, (2001) Una tecnología para apoyar a la ciencia. Nota elaborada para “Lunes en La Ciencia”. La Jornada. 25 mar 2001.

Ferris, Thimothy, "On the methods of Research for Systems Engineering." Technical Proceedings of the 2009 Conference on Systems Engineering Research (Loughborough, U.K., April 20-23, 2009). Loughborough University, UK.

Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M., (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys, ed. Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M., Introduction. (Springer Science + Business Media, Inc. U.S.A.) pp. 22-36.

Fine, Charles, Clockspeed: Winning Industry Control in an Age of Temporary Advantage, Perseus, 1998.

Firesmith, D. (2005). The OPEN Process Framework Repository Organization Glossary. Consultado 9.Ene.2011 de www.opfro.org/index.html?Glossary/GlossaryA.html~Contents

Flood, Robert L. and Jackson, Michael C., (1991), Creative problem solving: Total systems intervention. Ed. Wiley, E.U.A.

Ford, C. M. 1989. Creativity in managerial decision making: An examination of factors that influence the creativity of managers' decisions. Unpublished doctoral dissertation, Pennsylvania State University, University Park.

Ford, David, “Develop your Technology Strategy “, 1998, Long Range Planning, Vol 21, No 5, pp. 85 a 95.

Forgionne, G. A., Rada, R. (2009). Effective DMSS guidance for financial investing, International Journal of Decision Support System Technology, Volume 1, Issue 1.

Forgionne, G.A. (2000). Decision-making support systems effectiveness: The process to outcome link. *Information Knowledge-Systems Management*, 2, 169-188.

Forrester, Jay. (1961) *Industrial Dynamics*- MIT Press. E.U.A.

Foro Consultivo Científico y Tecnológico (2006), "Proyecto: Bases para una política de estado en Ciencia, Tecnología e Innovación en México". México.

Frank Hoeflich, Alejandro. (2011). "El C3: piedra Rosetta para la ciencia". La Jornada. [<http://www.jornada.unam.mx/2011/03/05/index.php?section=opinion&article=a03a1cie>]

Frederickson, E.B. (1971), Non-economic criteria and the decision process, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 2, pp. 25-52.

Frishammar, Johan, "Information use in strategic decision making", *Journal: Management Decision*, 2003, Vol. 41, No. 4, pp. 318 - 326.

Galliers, R. (2004). Reflections on information systems strategizing. In: *The Social Study of Information and Communication Technology: Innovation, Actors and Contexts*. Avgerou, C., Ciborra, C. & Land, F. (eds.), pp. 231–262. Oxford University Press, Oxford, UK.

García-Colín, Leopoldo. (1989) *El concepto de entropía*. Cuadernos del seminario de problemas científicos y filosóficos. UNAM. México.

García, Rolando, (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. (Gedisa, Barcelona).

Gell-Mann, M. (1995). *El quark y el jaguar*. Ed. Océano/Tusquets. España.

Gell-Mann, M. (1994). "Complex adaptive systems," Complexity, metaphors, models, and reality, G. Cowan, D. Pines, and D. Melzner (Editors), SFI Studies in the Sciences of Complexity, New York: Addison-Wesley. (Cited in Sheard, S. A. and Mostashari, A. 2009.)

Gershenson, Carlos, (2007) Design and Control of Self-organizing Systems, PhD Dissertation, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 2007, 175 p.

Gharajedaghi, Jamshid (1999), Systems thinking: Managing chaos and complexity; Ed. Butterworth Heinemann.

Giget, M. 1984. Les bonsais de l'industrie japonaise. Étude No. 40. Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Paris. 78 p.

Gilbert, E. N., (1966). "Information Theory After 18 Years", Science, 152, 320-326.

Goldratt, Eliyahu (1993). La Meta. Ediciones Castillo. México.

Guan, J., y Chen, Z., (2012) Patent collaboration and international knowledge flow. Information Processing and Management 48, 170–181.

Hacklin, F. y Raurich, "How incremental innovation becomes disruptive: the case of technology convergence", Engineering Management Conference, 2004. IEEE International Proceedings, Vol. 1, pp. 32- 36

Hahn, Heidi Ann; Bastian, Richard P.; French, Pamela R. "Reengineering a Large Technology -Based Organization", Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, Organizational Design and Management , Oct. 2007, pp. 779-783(5)

Haines, Stephen (2007). Rollercoaster of Change. Haines Centre for Strategic Management. E.U.A.

Hambrick, D.c. (1982), "Environmental scanning and organizational strategy", *Strategic Management Journal*, Vol. 3 No. 2, pp. 159-74

Harris, Bill (2000). *Applying System Dynamics to Business: An Expense Management Example*. Facilitated Systems. E.U.A. Disponible en: <http://facilitatedsystems.com/>

Harrison, E.F. (1996), A process perspective on strategic decision making. *Management Decision*, Vol. 43 No.1, pp. 46-53

Harrison, E.F. (1995), *The Managerial Decision-Making Process*, 4th ed., Houghton Mifflin, Boston, MA.

Harrison E. F. y Pelletier, M.A. (2001) Revising strategic decision success. *Management Decision* 39/3, pp. 169-179.

Harrison, E.F. y Pelletier M.A., (2000). The essence of management decision. *Management Decision* 38/7, 462-469.

Harrison, E. F. y Pelletier M. A. (1995) A paradigm for strategic decision success. *Management Decision*, Vol. 33 No. 7, pp. 53-59.

Hausmann, Hidalgo et al. (2011). *The Atlas of Economic Complexity*. Harvard University-MIT, E.U.A.

Hawking, Stephen, (2011). "El universo en una cáscara de nuez". Ed. Drakontos. España. 246 p.

Herrmann, Andreas, Torsten Tomczak, Rene Befurt, "Determinants of radical product innovations", *European Journal of Innovation Management*, 2006, Vol. 9, No.1, pp.20-43

Hervas, Jose Luis, Juan Ignacio Dalmau, "How to measure IC in clusters: empirical evidence", *Journal of Intellectual Capital*, 2006, Vol. 7, No. 3, pp.354 - 380

Heylighen F. (1990): Representation and Change. A Metarepresentational Framework for the Foundations of Physical and Cognitive Science, (Communication & Cognition, Gent), 200 p.

Hickson, D. J., Butler, R. J., Cray, D., Mallory, G. R., & Wilson, D. C. (1986) Top decisions: Strategic decision-making in organizations. San Francisco: Jossey-Bass.

Hitt, M. A. y Tyler, B. B. (1991). Strategic decision models: Integrating different perspectives. Strategic Management Journal, 12: 327-351.

Holland, John H, "El orden oculto", Fondo de Cultura Económica, México, 2004.

Holsapple, C.W. and Moskowitz, H. (1980), A conceptual framework for studying complex decision processes, Policy Sciences, Vol. 13, pp. 83-104.

Howard, R, 1980. An assessment of decision analysis, Oper. Res. 28(1) 4-27.

IEA -International Energy Agency- (2011). World Energy Outlook. France.

IMD (International Institute for Management Development). (1991-2011). The World Competitiveness Yearbook. Suiza.

INCOSE (International Council on Systems Engineering), 2010. Systems Engineering Handbook v. 3.2, January 2010

INCOSE, "Policy Statement on Systems Engineering Research", 27 Jan 2006, <http://www.incose.org/practice/research/researchpolicy.aspx>

Jamshidi, Mo (2009). System of Systems Engineering - Innovations for the 21st Century. U.S.A.: John Wiley & Sons.

Jantunen, Ari, "Knowledge-processing capabilities and innovative performance: an empirical study", *European Journal of Innovation Management*, 2005, Vol. 8, No. 3, pp. 336 - 349

Johansen, Oscar, *Introducción a la teoría general de sistemas*, México, Ed. Limusa-Noriega, 2002, p. 30

Johnson, G. y Scholes, K. (1999), *Exploring Corporate Strategy*, Prentice-Hall, Hemel Hempstead.

Joliot, Pierre, *La investigación apasionada*. Fondo de Cultura Económica, México, 2004.

Jukic, B., Jukic, N., Velasco, M., (2009). Enterprise Information Systems Change, Adaptation and Adoption, *Information Resources Management Journal*, 22(1), 63-87.

Juma , C. and Lee , Y. - C. (2005) Task Force on Science, Technology and Innovation. "Innovation: Applying Knowledge in Development". UN Millennium Project, Earthscan, London, http://www.unmillenniumproject.org/reports/tf_science.htm (revisado 06.Nov.2010).

Kahn, B, Strong, D & Wang, R. (2002). Information Quality Benchmarks: Product and Service Performance. *Communications of the ACM*, April, pp. 184-192.

Kamhawi, Emad M., (2010) The three tiers architecture of knowledge flow and management activities. *Information and Organization* 20, 169–186.

Kaplan, Robert S. y David P. Norton, (2001) *The Strategy-Focused Organization*, E.U.A., Harvard Business School Press, 381 p.

Karp, Tom, "Learning the steps of the dance of change: improving change capabilities by integrating futures studies and positive organisational scholarship", 2004, Vol. 6, No. 6
Page: 349 - 355

Kaye, D. (1995), "The nature of information", Library Review, Vol. 44 No. 8, pp. 37-48

Keegan, W.J. (1974), "Multinational scanning: a study of the information sources utilized by headquarters' executives in multinational companies", Administrative Science Quarterly, Vol. 19 No.3, pp. 411-21

Keizer, Jimme A.; Halman, Johannes I.M., "Diagnosing Risk in Radical Innovation Projects", Research-Technology Management, Volume 50, Number 5, September-October 2007 , pp. 30-36

Kim B., "Managing the transition of technology life cycle", Technovation, Volume 23, Number 5, May 2003 , pp. 371-381(11)

Kim, D. H. (1992). Toolbox: Guidelines for Drawing Causal Loop Diagrams. The Systems Thinker, Vol. 3, No. 1, pp. 5–6 (February 1992).

Kirilyuk, A.P., "Universal Dynamic Complexity as the Basis for Theoretic Ecology and Unified Civilization Transition to Creative Global Sustainability", Global Change Open Science Conference (Amsterdam, 10-13 July 2001)

Kirkwood, Craig W. (1998) System Dynamics Methods: A Quick Introduction. Arizona State University, E.U.A. Consultado en:
<http://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDIntro/SDIntro.htm>

Klein, Gary, "Decision Making in Action: Models and Methods", E.U.A., 1993, Ablex Publishing, 443 p.

Koivisto, Tapio, Developing strategic innovation capability of enterprises, VTT Publications, 2005

Kojadinovic, Ivan, "Unsupervised Aggregation of Commensurate Correlated Attributes by Means of the Choquet Integral and Entropy Functionals", INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS, VOL. 23, 128–154 (2008)

Kuczmariski, Thomas D., Innovation: leadership strategies for the competitive edge, Business Books, 1996.

Kumar R, Markeset T. (2007). Development of performance-based service strategies for the oil and gas industry: a case study. Journal of Business and Industrial Marketing 22(4): 272–280.

Kunsch, P., Chevalier, A., Brans, J.P., (2001). Comparing the adaptive control methodology (ACM) to the financial planning practice of a large international group. European Journal of Operational Research 132, pp. 479-489.

Lai, C.H. y Liu, D.R. (2009) Integrating knowledge flow mining and collaborative filtering to support document recommendation, The Journal of Systems and Software 82 2023–2037.

Lara Rosano, Felipe, (2009). Apuntes de clase de Dinámica de Sistemas Complejos. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lara Rosano, Felipe, (2002), Cibernética y sistemas cognitivos. En: "Ingeniería de Sistemas: un enfoque interdisciplinario", Acosta Flores, Jesús (coordinador), Alfaomega-UNAM, México. pp. 44-70.

Le Moigne J.L., (1990), La modélisation des systèmes complexes. Paris: Dunod.

Leal, Ricardo P., Thomas L. Powers, "A taxonomy of countries based on inventive activity", Journal: International Marketing Review, 1997, Vol. 14, No. 6, pp. 445 - 460

Leoncini, Ricardo, et. al, "Dynamic capabilities: evolving organisations in evolving (technological) systems", Dynamis Quaderni, University of Bologna.

Lesca H., (1989), Information et adaptation de l'entreprise, Paris: Masson.

Lilienfeld, Robert. The Rise of Systems Theory. Wiley-Interscience, U.S.A., 1978.

Lin, Chinho, Bertram Tan, Shofang Chang, "The critical factors for technology absorptive capacity", Journal: Industrial Management & Data Systems, 2002, Vol. 102, No. 6, pp. 300-308

Liu, D.R. y Lai, C.H., (2011) Mining group-based knowledge flows for sharing task knowledge. Decision Support Systems 50, 370–386

Lizardi-Nieto, V., 2009. Identificación de Activos Intelectuales. Presented on Seminario de Gestión del Conocimiento y Creación de Valor en Centros de I+D, México D.F., México.

Lotka, A.J., Elements of Mathematical Biology, Dover, Nueva York, 1956.

Loyola Díaz, Rafael y Drucker Colín, René. (2012). El agotamiento de un modelo para la CTI. Intervención durante el foro "Educación, Ciencia y Tecnología" en Aguascalientes,

Ags. Enero 25 del 2012. México. Consultado en:
[laisumedu.org/descarga_documento.php?filename=V-6EIC-036-25012012-2012.pdf]

Loyola Díaz, Rafael y Paredes López, Octavio. (2008) Tecnología sin ciencia: La apuesta del gobierno federal. Emequis. 10 de noviembre de 2008. Consultado en:
[http://www.comunicacion.amc.edu.mx/amc-en-medios/tecnologia-sin-ciencia-la-apuesta-del-gobierno-federal/]

Lozada, H. y Calantone, R. (1997), "Scanning behavior and environmental variation in the formulation of strategic responses to change", *Journal of Business & Industrial Marketing*, Vol. 11 No1, pp. 17-42

Lukkonen, Terttu, "Challenges for the evaluation of complex research programmes", Capítulo de libro Learning from Science and Technology Policy Evaluation: Experiences from the US and Europe, Philip Shapira, Stefan Kuhlmann, 2003.

Machado, Fernando M. (1990), Product innovation in the technological Management of the Company. Science and Technology collection. Santiago de Chile. BID-CINDA-SECAB.

Macmillan, F. 2000. Risk, uncertainty and investment decision making in the upstream oil and gas industry. Ph.D. thesis. University of Aberdeen, Aberdeen, UK.

Macpherson, Allan, Ossie Jones, Michael Zhang, Alison Wilson, "Re-conceptualising learning spaces: developing capabilities in a high-tech small firm", *Journal of Workplace Learning*, 2003, Vol. 15, No. 6, pp. 259 – 270.

Maguire, S., Ojiako, U. and Robson, I., (2009). The intelligence alchemy and the twenty-first century organization, *Strat. Change* 18: 125–139.

Martínez-Berumen, H. A., Escobar-Toledo, C. E., (2011). “Decision making in new technologies for Public Research Centers: A methodological proposal with Systems approach”. *Systems Research Forum*. Vol. 5, Issue 1, pp. 53-72.

Martínez-Berumen, Héctor A., Baquero-Herrera, Fernando, Lizardi-Nieto, Víctor, 2010. “Fostering Innovation in an R&D Center through Systems Engineering”, En memorias 7th European Systems Engineering Conference (EuSEC 2010), Estocolmo, Suecia.

Martínez-Berumen, H. A., Escobar-Toledo, C. E., Baquero-Herrera, F., 2009. “Strengthening the Technological Aspects of an R&D Centre using the Systems Approach”, En memorias 7th Conference on Systems Engineering Research, Loughborough, U.K.

Martínez-Berumen, Héctor A., (2007) Diseño e implantación de un modelo integral de gestión orientado a sistemas para centros de investigación y desarrollo, Tesis de maestría, Universidad Iberoamericana, México, 117 p.

Marwick, Peat, “Information for strategic management: a survey of leading companies”, Harris Research Centre/KPMG, *Aslib Proceedings*, Vol. 46 No. 2, 1994, pp. 31-42.

McCartt, A. T., J. Rohrbaugh. (1989) Evaluating group decision support system effectiveness: A performance study of decision conferencing. *Decision Support Systems* 5 243-252.

Meadows, D.M. (1980). The unavoidable a priori, in *Elements of the System Dynamics Method* (ed. J. Randers), pp. 23-57, MIT Press, Cambridge Mass., E.U.A.

Menchaca Rocha, Arturo. (2011) El único camino hacia el desarrollo de México pasa por el conocimiento. *Academia Mexicana de Ciencias*. México.

México. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. *Diario Oficial de la Federación*. 05.Feb.1917, 184p.

México. Ley de Ciencia y Tecnología. *Diario Oficial de la Federación*. 05.Jun.2002, 43p.

México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. El Sistema de Centros de Investigación CONACYT, México, 2006, 67 p.

México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. “Desempeño de la innovación en México”

http://www.conacyt.mx/InformacionCiencia/Docs/14931Estudio_SOBRE_Innovacion_Tecnologica.pdf

Miller, J.G. (1978). *The living Systems*. Mc Graw-Hill, E.U.A. 1102 p.

Miller, D., y Friesen, P. H. 1983. Strategy-making and environment: The third link. *Strategic Management Journal*, 4: 221-235.

Mintzberg, H., Raisinghani, D. and Theoret, A. (1976), "The structure of 'unstructured' decision processes", *Administrative Science Quarterly*, Vol. 21 No. 2, pp. 246-75

Mintzberg, H. (1994), *The Rise and Fall of Strategic Planning*. The Free Press, E.U.A.

Mitra, Jay “Making connections: innovation and collective learning in small businesses”, *Journal: Education + Training*, 2000, Vol. 42, No. 4/5, pp. 228 - 237

M. M. J. Berry y J. H. Taggart, “Managing technology and innovation: a review”, *R&D Management* 24 (4), 341–353

Moenaert Rudy K. and William E. Souder, (1990), An Information Transfer Model for integrating Marketing and R&D Personnel in New Product Development Projects. *Journal of Product Innovation Management*, 7:91-107

Mogee, M. E., [1998] *Keeping Abreast of Science and Technology*, eds. A. Bradford and R. A. Klavans, "Patents and Technology Intelligence," in (Battelle Press, U.S.A.) pp. 295-335

Morecroft, J., (2007). *Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach*. John Wiley & Sons, Ltd., Inglaterra.

Moreno Bonett, Alberto, (2002), El enfoque sistémico y la ingeniería de sistemas. En: "Ingeniería de Sistemas: un enfoque interdisciplinario", Acosta Flores, Jesús (coordinador), Alfaomega-UNAM, México. pp. 1-28.

Morgenstern, Oskar y John von Neumann (1947): *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press. [HA: verificar si la referencia es correcta]

Naslund, B., "A Method for solving multicriteria problems", W.P. 72-8. Bruselas: European Institute for Advanced Studies in Management, 1972.

Newman, Mark , et al. (2006). *The structure and dynamics of networks*. Princeton Univ. Press, U.S.A.

Nielsen, Anders Paarup, "Understanding dynamic capabilities through knowledge management", *Journal of Knowledge Management*, 2006, Vol. 10, No. 4, pp. 59 - 71

Nieto, Mariano, (2004) "Basic propositions for the study of the technological innovation process in the firm", *European Journal of Innovation Management*, Vol. 7, No. 4, pp. 314 - 324

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company*. New York, NY: Oxford University Press.

Nutt, P.C., (2011) Making decision-making research matter - some issues and remedies. *Management Research Review*. Vol. 34 No. 1, pp. 5-16.

Nutt, P. C. (1993) The formulation processes and tactics used in organizational decision making. *Organization Science*, 4: 226-251.

OASIG. (1996). *The performance of information technology and the role of human and organisational factors*. Report to the Economic and Social Research Council, UK

OCDE, *Manual de Frascati – Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental*, Francia, 1996, 341 p.

O'Connor, M., (1991). Entropy structure and organisational change. *Ecological Economics*, 3, 95-122

OECD (2011a), "Gross domestic expenditure on R&D", *Science and Technology: Key Tables from OECD*, No. 1. [doi: 10.1787/rdxp-table-2011-1-en]

OECD (2011b), "Poverty rate". *Society at a Glance 2011*. OECD Social Indicators. [http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/society-at-a-glance-2011_soc_glance-2011-en]

OECD (1996). *The knowledge-based economy*. París, Francia.

OECD-Eurostat, *Oslo Manual – Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data*, Francia, 1997, 118 p.

OECD - Eurostat, 2005. *Oslo Manual*. European Communities.

Office of Management and Budget. (2009) Enterprise Architecture Assessment Framework v3.1. E.U.A.

Olusola O. Oduntan & Namkyu Park (2012): Enterprise Viability Model: Extending Enterprise Architecture Frameworks for Modeling and Analyzing Viability under Turbulence. *Journal of Enterprise Transformation*, 2:1, 1-25.

Optner, Stanford L. (1978), *Análisis de Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México.

Paredes López, O. y Loyola Díaz, R. (2006), "El conocimiento y la innovación, los grandes ausentes para el desarrollo y la competitividad en México". *Reencuentro*, Núm. 45, p.48-52

PECiTI. 2008. Programa Especial en Ciencia, Tecnología, e Innovación. México.

Pérez-Tamayo, Ruy, *¿Existe el método científico?* Fondo de Cultura Económica, México, 2003.

Pfeffer, J., & Salancik, G. R. (1978) *The external control of organizations: A resource dependence perspective*. New York: Harper & Row.

Piepenbrock, Theodore "Enterprise Design for Dynamic Complexity", Thesis, Master of Business Administration/Master of Science in Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, June 2004

PNUD (2000), *Objetivos de desarrollo del milenio*, [<http://www.beta.undp.org/undp/es/home/mdgoverview.html>]. Revisado 29.Mar.2011.

PNUD (2011), "Índice de Desarrollo Humano (IDH)". [<http://hdr.undp.org/es/>]

Pomerol, J. C. and Barba-Romero, S., (2000). *Multicriterion decision in Management: Principles and Practice*. (Kluwer Academic Publishers, U.S.A.)

Porter, Michael E. (1990), *The Competitive Advantage of Nations*. The Free Press

Porter, M., (1985). *Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance*. The Free Press, E.U.A., 557 p.

Powell G, Kokar M, Matheus C, Lorenz D. (2004). Understanding the role of context in the interpretation of complex battlespace intelligence. 9th International Conference on Information Fusion; 1–8

Pöyhönen, Aino y Anssi Smedlund, “Assessing intellectual capital creation in regional clusters”, *Journal of Intellectual Capital*, 2004, Vol. 5, No. 3, pp. 351 - 365

Presidencia de la República. (2005) *Modelo de Calidad INTRAGOB*. México.

Priem, R., Rasheed, A., & Kotulic, A. (1995) Rationality in strategic decision processes, environmental dynamism and firm performance. *Journal of Management*, Vol. 21. No. 5: 913-929.

Prigogine, I. (1978). Time, structure and fluctuations. *Science*, 201, pp. 777-84.

Probert, David, y Noordin Shehabuddeen, “Technology road mapping: the issues of managing technology change”, *International Journal of Technology Management*, Volume 17, Number 6 / 1999, 646 – 661

Pruyt, Erik, “Extending the Adaptive Control Methodology: combining Systems Dynamics and Multiple Criteria Decision Analysis in a dynamic management tool”. MOSI Working Paper, 2004.

Puschmann, Thomas y Rainer Alt, “Enterprise application integration systems and architecture – the case of the Robert Bosch Group”, *Journal of Enterprise Information Management*, 2004, Vol. 17, No. 2, pp.105 – 116

Radner, R. (1993). The organization of decentralized information processing. *Econometrica* 61 (5) (September): 1109–1146.

Radzicki, Michael J., (1990). Institutional Dynamics, Deterministic Chaos and Self-Organizing Systems, *Journal of Economic Issues*, Vol. XXIV, No. 1, March 1990

Rau, J.G., 1970. *Optimization and Probability in Systems Engineering*, Nueva York: Van Nostrand-Reinhold.

Redman, Thomas C. 1996. *Data Quality for the Information Age*. Vol. 1. Artech House.

Rhodes, Donna y Hastings, Daniel “The Case for Evolving Systems Engineering as a Field within Engineering Systems”. MIT Engineering Systems Symposium, March 2004.

Richardson, G. P. y Pugh A. L. III, (1981). *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A.

Rifkin, Stan. (2011). An introduction to the special issue of *Journal of Enterprise Transformation: Enterprise Change and Continuity*. *Journal of Enterprise Transformation*, 1:95–97.

Rigaud Téllez, Nelly (2009). *Desarrollo y aplicación de un marco conceptual para la gestión de Recursos Humanos*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Rockart JF. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review* March–April: 81–93

Rogers, E.M., “*The Diffusion of Innovations*”, 1995, New York: the Free Press.

Rosenblueth, A., et al., (1943). Behavior, Purpose and Teleology, *Philosophy of Science*, núm 10, pp. 18-24.

Rosnay, J. de. (1979). *The Macroscope*. Harper & Row, (New York). Consultado en: <http://pespmc1.vub.ac.be/MACRBOOK.html>

Rothstein J. 1958. *Communication, Organization, and Science*. Falcon's Wing Press: Indian Hills, CO.

Rouach D, Santi P. (2001). Competitive intelligence adds value: five intelligence attitudes. *European Management Journal* 19(5): 552–559

Rouse, William B., “Complex engineered, organizational and natural systems”, *Systems Engineering*, E.U.A., Vol. 10, No. 3, Julio-Agosto 2007, pp. 260-271.

Roussel, A.P., Saad,N.K. & Erickson, J.T. (1991), *Third Generation R&D: Managing the Link to Corporate Strategy*. Harvard Business School Press. Boston Massachusetts.

Roy, B. 1985. *Méthodologie Multicritère d'aide à la Décision*. Economica, Paris.

Ruiz, Rosaura, Martínez, Rina y Valladares, Liliana. (2010) *Innovación en la educación superior: Hacia las sociedades del conocimiento*. FCE-UNAM. México. 212 p.

Ruiz, Rosaura y Loyola Díaz, Rafael. (2009) Los riesgos de una política científica gerencial (parte III). *El Universal*. 11 de Marzo del 2009. Consultado en: [<http://www.eluniversal.com.mx/editoriales/43236.html>]

Ryan, J.P.F.J., (1972) Information, Entropy and Various Systems. *J. theor. Biol.* 36, 139-146.

Ryschkewitsch, Michael, Schaible, Dawn, and Larson, Wiley “The art and science of systems engineering”, *Systems Research Forum*, Vol. 3, No. 2 (2009). pp. 81-100.

Sage, A. P., & Lynch, C. L., (1998). Systems Integration and Architecting: An Overview of Principles, Practices, and Perspectives. *Systems Engineering*, 1(3), 176-227.

Saint-Onge H. (2008). Collaborative Networks and the New Enterprise. ADIAT Anual Congress. Acapulco, Mexico.

Sametband, Moisés J., (1999). Entre el orden y el caos: la complejidad. Fondo de Cultura Económica. México.

San Miguel, M.; (2003). Interdisciplinarietà: Comentarios desde la perspectiva de un físico. En: "El papel social de la ciencia en baleares: Un homenaje a Javier Benedí". Eds. C. Duarte y F. Grases, Universitat Illes Balears, (235-250).

Sánchez Sánchez, A. (2006). Sistemas complejos: La ciencia del siglo XXI. En: Matemáticas en la Frontera. Comunidad de Madrid, Consejería de Educación, Dirección General de Universidades e Investigación. España.

Scheel, Carlos, "Knowledge clusters of technological innovation systems", *Journal of Knowledge Management*, 2002, Vol. 6, No. 4, pp. 356 - 367

Scherrer, Phillip S. "Directors' responsibilities and participation in the strategic decision making process", *Journal: Corporate Governance*, 2003, Vol. 3, No. 1 pp. 86 - 90

Schilling, M.S., Oeser, N., Schaub, C., (2007) How Effective Are Decision Analyses? - Assessing Decision Process. *Decision Analysis*. Vol. 4, No. 4, December, pp. 227-242.

Schrenk, L.P. (1969), Aiding the decision maker - a decision process model, *Ergonomics*, Vol. 12, pp. 543-557.

Schrödinger, Erwin. (1944). "What is Life?". Ed. Macmillan.

Secretaría de la Función Pública. (2012). Programa Especial de Mejora de la Gestión en la Administración Pública Federal: Manual de Operación del Módulo Institucional 2012. México.

Sedmak, Melissa, (2010), Studying the Processes During Implementation of Enterprise Systems. Knowledge and Process Management, Volume 17 Number 1 pp 1–11.

Senge, Peter, The Fifth Discipline, New York, Doubleday, 1990.

Shanklin, William y Ryans, John. "Organizing for high tech marketing". Harvard Business Review, 62(6), 164-171, November/December 1984.

Shannon. (1948). A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948.

Shannon y Weaver (1949). The mathematical Theory of Communication. Urbana, IL: University of Illinois Press.

Sharp, J. A. (1977). Systems Dynamics Applications to Industrial and Other Systems, Operational Research Quarterly, Vol. 28, No. 3, Part 1, pp. 489-504

Sharum, B. J., and Sage, A. P., (2002/2003). Systems Engineering and Management of Enterprise Information Systems: Ecological, Architectural, and Foundation Program Issues, Information Knowledge Systems Management 3 107–122.

Sheard, S. A. and Mostashari, A. 2009. Principles of Complex Systems for Systems Engineering. Systems Engineering 12 (4): 295-311.

Shirley, R.C. (1982), Limiting the scope of strategy: a decision-based approach. Academy of Management Review, April, pp. 262-268.

Simon, H.A. The organization of complex systems. En: "Hierarchy Theory. The Challenge of Complex Systems"; Pattee, H.H., Ed.; Braziller: New York, 1973; pp. 1-27.

Simon, H. (1960). The new science of management decision. New York: Harper and Row.

Singh SK, Watson HJ, Watson RT. (2002). EIS support for the strategic management process. *Decision Support Systems* 33: 71–85.

Skinner, W. (1978) *Manufacturing in the Corporate Strategy* (New York: Wiley). pp. 81–82.

Skivington, J. E., & Daft, R. L. (1991). A study of organizational "framework" and "process" modalities for the implementation of business-level strategic decisions. *Journal of Management Studies*, 28: 45-68.

Smit, Roger, "The CTO and Innovation", CTOnet.org, E.U.A., 2004, 12 p.

Solleiro, José Luis, et al. (2008), *Gestión del Conocimiento y Creación de Valor en Centros de I+D*. Proyecto de investigación auspiciada por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO-México.

Solow, Robert M., (1957), "Technological Change and the Aggregate Production Function" *Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, No. 3.

Stacey & G-BTECH. (1985), *An Approach for Integrating Technology and Business Strategy*. Batelle Memorial Institute. Columbus OH.

Sterman, John D. (2000), *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. E.U.A. Irwin/McGraw-Hill

Steuer, R., "Multiple criteria optimization: Theory, computation and application", Nueva York: John Wiley, 1986.

Stewart, T. J. (2005) Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys, ed. Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M., Chapter 11, “Dealing with uncertainties in MCDA” (Springer Science + Business Media, Inc. U.S.A.) pp. 445–470.

Sumanth, D.J., and Sumanth. J.J., "Managing the Technology Gradient for Global Competitiveness", The handout on Technology Management, edit by G. Gaynor, McGraw-Hill, 1996

Swann, P. G. 2004. Do standards enable or constrain innovation? The empirical economics of standards, 49. London: DTI.

Tarter, C. John y Wayne K. Hoy, “Toward a contingency theory of decision making”, Journal of Educational Administration, 1998 Vol. 36, No. 3, pp: 212 - 228

Taylor-Nelson AGB, “The politics of information”, Information World Review, April 1994, p. 20.

Taylor, M.A., “A feedforward and feedback framework for analysing an organisation’s resources, capabilities and development needs”, Journal: Health Manpower Management, 1998, Vol. 24, No. 6, pp. 196 - 205

Teece, D.J. (1998). Capturing value from knowledge assets: The new economy, markets for know-how, and intangible assets, California Management Review, Vol. 40, No. 3, pp. 55-79.

Teece, David J., et. al, “Dynamic capabilities and strategic management”, Strategic Management Journal, Vol. 18, Issue 7 , pp. 509 – 533

Teleos, 2008. Assessment of ADB’s Knowledge Management Implementation Framework. United Kingdom.

Temple, P, R. Witt, and C. Spencer. 2005. Standards and long-run growth in the U.K. In The empirical economics of standards.

Testa B., Kier L.B. (2000). Emergence and Dissolence in the Self-organisation of Complex Systems. *Entropy*. 2000; 2(1):1-25

Theocaris, T., Psimopolous, M. "Where science has Gone Wrong". *Nature* 329: 595-598, 1987.

Thomas, P.S. (1980), "Environmental scanning - the state of the art", *Long Range Planning*, Vol. 13 No.2, pp. 20-8

Thomson, W. (1851) "On the dynamical theory of heat; with numerical results deduced from Mr. Joule's equivalent of a thermal unit and M. Regnault's observations on steam" *Math. and Phys. Papers* vol.1, pp 175–183.

Thusman, M.L. y Nadler, D.A. (1978), "Information processing as an integrating concept in organizational design", *Academy of Management Review*, Vol. 3 No.3, pp.613-24

Tiwana, A. (2002): *The Knowledge Management Toolkit: Orchestrating IT, Strategy, and Knowledge Platforms* (2nd Edition). Prentice Hall.

Vincke Philippe. [1989], *L'aide Multicritère à la Décision*. (Editions de l'Université Libre de Bruxelles).

William M. Toms, Ernest "Bub" Kovacs & Kathleen M. Immordino (2011). Planned Radical Change in Organizations: Unintended Consequences on Roles and Continuity. *Journal of Enterprise Transformation*, 1:2, 98-118.

Trull, S.G. (1966), "Some factors involved in determining total decision success", *Management Science*, February, pp. B-270-B-280.

Tschirky, Hugo, (2005) "Technologiemanagement im Wandel: "From Managing Technologies to Managing Innovation-driven Enterprises", Bildarchiv der ETH-Bibliothek Prod. Abschiedsvorlesung von Professorinnen und Professoren / ETH Zürich. Departement Management, Technologie und Oekonomie Sommersemester.

UNAM – IIDC. (2011). "Elementos para la Construcción de una Política de Estado para la Seguridad y la Justicia en Democracia". Conferencia Internacional sobre Seguridad y Justicia en Democracia. (Revisado 09.Ago.11) [http://www.ddu.unam.mx/imgs/Inicio/SeguridadYJusticia/propuesta_s_AGO11.pdf]

Utterback, James y Abernathy, William. "A dynamic model of process and product innovation", 1975, Omega, 3 (6), 639-656

Van Zandt, T. (1998). Organizations that process information with an endogenous number of agents. In Organizations with Incomplete Information, M. Majumdar, (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge, Chapter 7, pp. 239–305.

Vennix, Jack, Jac A.M., Group Model Building: facilitating team learning using system dynamics, New York: John Wiley, 1996.

Vincke Philippe. (1989), L'aide Multicritère à la Décision. Editions de l'Université Libre de Bruxelles.

Vivas López, Salvador, "Competitive advantage and strategy formulation: The key role of dynamic capabilities", Journal: Management Decision, 2005, Vol. 43, No. 5, pp. 661 - 669.

Von Bertalanffy, Ludwig, (1976) Teoría General de Sistemas; México, Fondo de Cultura Económica.

von Winterfeldt, D., W. Edwards. (1986) Decision Analysis and Behavioral Research. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Vose, David, Risk Analysis, 2a. ed., E.U.A., Ed. Wiley, 2000 (c 2000) 409 p.

Voyer, J. J. (1994). Coercive organizational politics and organizational outcomes: An interpretive study. *Organization Science*, 5: 72-85.

Walters, David, et al, “Added value, enterprise value and competitive advantage”, *Journal: Management Decision*, 2002 Vol. 40, No. 9, pp. 823 - 833

Watson HJ, Fuller C, Ariyachandra T. (2004). Data warehouse governance: best practices at Blue Cross and Blue Shield of North Carolina. *Decision Support Systems* 28: 435–450.

Weihrich, H., y Koontz, H., (1993). *Management: A Global Perspective*, McGraw-Hill, E.U.A.

Wiener, N., (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press, E.U.A.

Wiener N. (1961). *Cybernetics* (2nd edn). Wiley: New York.

Williams, B., y Harris, B. (2005). *System Dynamics Methodology*. W. K. Kellogg Foundation. E.U.A.

Zollo, M. & Winter, S. G., “Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities”, *Organization Science*, 13(3), 339-351, 2002