

Raúl Reyes Reynoso

Jorge Armando Rojas Ramírez

Iván Enrique Campos Silva

Luis Enrique Soto Muciño

Ramón Elizarrarás Baena

**El enfoque sistémico aplicado a la enseñanza en el
desarrollo de proyectos académicos de ingeniería mecatrónica**

Pensamiento Crítico. Revista de Investigación Multidisciplinaria

Año 1. No. 1. Julio – Diciembre, 2014, pp. 55 -82

<https://doi.org/10.64040/gav15f09>

Como citar artículo: Reyes, . R. ., Rojas, J. A. ., Campos, I. E. ., Elizarrarás, R., & Soto, L. E. (n.d.). El enfoque sistémico aplicado a la enseñanza en el desarrollo de proyectos académicos de ingeniería mecatrónica The systemic approach in the teaching of the. *Pensamiento Crítico. Revista De Investigación Multidisciplinaria*, 1(1), 55-82. <https://doi.org/10.64040/gav15f09>

Publicación por la Universidad UDF Santa María. Cedro No. 16, Santa María la Ribera, C.P. 06400, Alcaldía editada Cuauhtémoc, Ciudad de México.



Excepto que se establezca de otra forma, el contenido de esta revista cuenta con una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

El enfoque sistémico aplicado a la enseñanza en el desarrollo de proyectos académicos de ingeniería mecatrónica

The systemic approach in the teaching of the undergraduate projects of mechatronic engineering

Raúl Reyes Reynoso (1)

Jorge Armando Rojas Ramírez (2)

Iván Enrique Campos Silva (3)

Luis Enrique Soto Muciño (4)

Ramón Elizarrarás Baena (5)

Resumen

Por sus características holística e integradora el enfoque sistémico ha aportado una visión o enfoque distinto para analizar y transformar los fenómenos del entorno, esto en contraste a los enfoques analíticos y reduccionistas del pasado. Este enfoque ha impactado positivamente al estudio principalmente de sistemas complejos o con estructura entrópica. En el caso de la educación en ingeniería, se han obtenido importantes logros orientados a responder tecnológicamente a las necesidades de la industria. Sin embargo, aquí surge un par de cuestionamientos por parte de Gómez-Mejía (2013) que impactan en la eficiencia terminal en la formación de ingenieros: “¿Qué tanta relación establece el plan de estudios, entre las ciencias básicas con las ciencias de la ingeniería, y la ingeniería aplicada?; y lo más importante ¿Qué tanto el profesor y sobre todo el estudiante, comprenden y se dan cuenta de esta interrelación?” (p.20).

La falta de respuestas a estas interrogantes impactan en los estudiantes en frustración, desmotivación, escasa integración a la carrera seleccionada, etc. Este problema se agudiza cuando el estudiante comienza a desarrollar soluciones tecnológicas y no cuenta con los apoyos académico metodológicos necesarios para llevarlo a cabo. Por ello, a continuación se presenta un método para el desarrollo de proyectos académicos de ingeniería mecatrónica basado en el enfoque de sistemas, en virtud de que las soluciones tecnológicas que actualmente demanda la industria tienen que ver con problemáticas complejas y multi-causales. De ahí, la importancia que los estudiantes aprendan durante su formación herramientas sistémicas para comprender, modelar, diseñar e instrumentar la complejidad.

Palabras Clave: enfoque sistémico, educación en ingeniería, proyecto de ingeniería, ingeniería mecatrónica, método sistémico.

(1) Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por el IPN. Profesor SEPI ESIME Azcapotzalco, IPN. Contacto: rareyes@ipn.mx

(2) Doctor en Automatización por Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Francia. Profesor de la SEPI ESIME Zacatenco, IPN. Contacto: jrojasr@ipn.mx

(3) Doctor en Ingeniería Mecánica por el IPN. Profesor de la SEPI ESIME Zacatenco. Contacto: icampos@ipn.mx

(4) Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por el IPN. Profesor de la ESIME Azcapotzalco, IPN. Contacto: lsotom607@gmail.com

(5) Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla. Profesor de la ESIME Azcapotzalco, IPN. Contacto: relizarrarasb@ipn.mx

Abstract

For its holistic and integrative characteristics, the systemic approach has provided a different vision or approach to analyse and transform the phenomena of the environment. This in contrast to the analytic and reductionist approaches used in the past. This approach has contributed positively to studies about systems with a complex structure or entropic behaviour. In the case of engineering education, significant achievements have been obtained technologically focused to respond to the needs of the industry. However, here comes a couple of questions from Gómez-Mejía (2013) that have a direct impact in the terminal efficiency of the engineering education: What is the relationship between the programs of study, basic sciences, engineering sciences and applied engineering? And most importantly, how do Professor and specially Students understand and realise about this interrelationship? (p.20). The lack of answers to these questions is cause of various problems in students, such as, frustration, demotivation, and lack of full integration to the selected engineering career, among others. This problem is exacerbated when students start the development of technological solutions and they do not have the necessary academic and methodological support to carry out. Therefore, coming up next the method to develop academic projects of mechatronic engineering based on systemic approach, by virtue of technological solutions that the industry are requiring today are related to the complex and multi-cause problems. Hence, the importance of students learn, during their educational process, systemic tools that provide them elements to understand, model, design and instrument complexity.

Key words: systemic approach, engineering education, engineering project, mechatronics, systemic method.

INTRODUCCIÓN

El proyecto terminal o académico de ingeniería tiene como finalidad que los estudiantes apliquen los conocimientos que han adquirido durante su formación para desarrollar una solución parcial o total a una problemática determinada. Debido a sus características de multi-causalidad y complejidad que hoy en día éstas presentan, es necesaria la utilización de herramientas sistémicas que faciliten y potencialicen el desarrollo de este tipo de soluciones tecnológicas desde el mismo contexto académico de ingeniería.

En este sentido, uno de los principales objetivos que persiguen las instituciones de educación superior, es formar a los futuros ingenieros con base en conocimientos, habilidades, técnicas y herramientas, que sean de vanguardia y que al mismo tiempo les permita desarrollar dispositivos tecnológicos complejos, estructuras o procesos.

Es ahí donde el enfoque sistémico tiene importantes aportes. Rosell-Puig, & Más-García (2003) afirman: "El contenido de enseñanza debe estructurarse con un enfoque sistémico o conjunto de elementos relacionados entre sí que constituye una determinada formación integral, con nuevas características no implícitas en los componentes que la forman".

Aplicado lo anterior a la ingeniería mecatrónica, se observan estas características en su forma multidisciplinaria para conjuntar sinérgicamente conocimientos, para analizar las relaciones con el entorno, para el diseño, simulación y manufactura de prototipos, inclusive para la planeación,

generación y administración de proyectos tecnológicos, los cuales representan en su conjunto, elementos que son parte del proceso para la obtención de una solución. Además, el enfoque sistémico contribuye a dar respuesta a la dicotomía que existe entre el diseño de proyecto y el diseño de ingeniería, integrándolos en una sola entidad facilitando así su comprensión y realización.

Para el caso del presente trabajo de investigación, se aplicó el modelo de enfoque sistémico de Clifton B. Chadwick que como lo menciona Becerra & Sánchez (2000) fue quien hizo el primer intento para presentar de forma bastante sencilla los conceptos de enfoque y análisis de sistemas aplicables en el ámbito educativo (p.66).

El modelo de Clifton B. Chadwick propone que con la caracterización de sistemas se pueden alcanzar dos propósitos muy importantes que son: primero, efectuar una descripción detallada de todos los elementos que integran el sistema en estudio, y, segundo, tomando como punto de referencia los datos recogidos con la descripción minuciosa del sistema, tratar de estudiar pormenorizadamente la forma como él mismo logra sus objetivos, la eficiencia con que lo alcanza y el grado que obtiene en su rendimiento, hecho que ciertamente conduce a la detección de aquellos problemas que pueden estar afectando su actuación general. En este sentido, el enfoque sistémico es un método objetivo, cuantitativo y experimental, que sirve para descubrir los problemas existentes en cualquier sistema para elegir o diseñar mejores o más modernos cursos de acción para hacerlo funcionar eficazmente. Es un método que facilita el desarrollo de nuevos recursos

en forma ordenada y lógica, a la vez que orienta el proceso de ponerlos en práctica de manera cuidadosa y evaluarlos en seguida para verificar su eficacia y pertinencia científica y analíticamente (Becerra & Sánchez, 2000, pp.66-67).

Con base en este modelo de enfoque sistémico de Clifton B. Chadwick, se obtuvo el método para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales que aquí se presenta, el cual, constituye un soporte metodológico consistente para profesores y estudiantes en el desarrollo de este tipo de proyectos académicos.

Con base en lo anterior, a continuación, se presentan las diez fases del método, iniciando con un análisis conceptual de los principales términos utilizados en la realización de un proyecto académico de ingeniería, así como su interrelación, para posteriormente, a partir de la definición de una necesidad real, establecer el desarrollo una alternativa de solución tecnológica a nivel prototipo.

ENFOQUE SISTÉMICO PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS MECATRÓNICOS TERMINALES

De acuerdo con el Project Management Institute, un proyecto es una iniciativa temporal que se pone en marcha para crear un producto o servicio único. De manera alternativa, un proyecto se puede ver como un conjunto bien definido de tareas o actividades que deben realizarse para cumplir las metas del proyecto (Klastorin, 2010, p.3).

Por su parte, Tamayo y Tamayo (2012) afirma: “un proyecto podría describirse como el planeamiento de algo, en el cual se indican y justifican los conjuntos de acciones necesarias para alcanzar un objetivo preciso, dentro de determinados parámetros de concepción, tiempo y recursos” (p.102).

Con estas dos definiciones surge el cuestionamiento de qué se debería entender por un proyecto terminal o académico de ingeniería. Para ello, se tendría previamente que definir y diferenciar lo que es un proyecto de investigación científica, un proyecto de ingeniería y un proyecto de inversión.

Un **proyecto de investigación científica** se lleva a cabo para establecer preguntas y obtener respuestas en relación a la estructura y funcionamiento del mundo que nos rodea; se trata de obtener como resultado conocimiento científico estructurado y validado. Hernández-Sampieri, Fernández-Collado, & Baptista-Lucio (2006) definen a un proyecto de investigación científica: “como un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno; es dinámica, cambiante y evolutiva” (p.29). Valencia-Giraldo la considera como “la suma actual de conocimientos científicos, como una actividad de investigación o hasta como un método de adquisición del saber” (p.158). En resumen, un proyecto de investigación científica principalmente genera ciencia. En este contexto, una de las clasificaciones de la ciencia está en relación a las áreas de conocimiento que integra. En el caso particular de la ciencia que se estudia y se aplica en la ingeniería se denomina **ciencia de la ingeniería**, ésta se compone de ciencias básicas y ciencias

aplicadas, las cuales en resumen, son las asignaturas que componen los planes de estudio. Entre éstas se pueden identificar las relacionadas a las leyes del movimiento, a la estructura de la materia, al comportamiento de los fluidos y a la conversión de la energía.

De aquí, se deriva el concepto de **ingeniería**. La ingeniería es la profesión que se fundamenta en los conocimientos de las ciencias naturales y matemáticas, en la conceptualización, diseño, experimentación y práctica de las ciencias propias de cada especialidad, buscando la optimización de los materiales y recursos, para el crecimiento, desarrollo sostenible y bienestar de la humanidad (Valencia-Giraldo, 2004, p.161).

La ingeniería busca, entonces, en cualquiera de sus ramas, la comprensión de los fenómenos de la naturaleza y la revisión del estado del arte de la tecnología de su tiempo, con el propósito de avanzar en el desarrollo de las aplicaciones útiles para la sociedad (Zapatero-Campos, 2010, p.2). En consecuencia, las soluciones que se obtienen a partir de la ingeniería se denominan **tecnología**.

La tecnología puede definirse como la aplicación sistemática del conocimiento científico a las actividades productivas. En otras palabras, es el conjunto de conocimientos utilizados en la producción y comercialización de bienes y servicios, que se materializa en máquinas y equipos e información sobre ellos (Valencia-Giraldo, 2004, p.160).

Ahora bien, el proceso para crear y desarrollar tecnología se denomina proyecto de ingeniería, o también citado como desarrollo tecnológico, y en este sentido Zapatero-Campos (2010) lo define como “el proceso de búsqueda, conceptualización, investigación y experimentación que da como resultado la generación de nuevos productos tecnológicos” (p.23).

Un **proyecto de ingeniería** es un proceso o desarrollo tecnológico cíclico-único, que integra planeación, asignación de recursos y el desarrollo de una serie de actividades coordinadas y controladas en donde se aplican principalmente los conocimientos de las ciencias de la ingeniería para generar tecnología. Cuando el proyecto de ingeniería se lleva a cabo dentro de una institución educativa como parte de la estructura curricular en la formación de los alumnos, éste se define como **proyecto terminal o proyecto académico de ingeniería**.

Por otra parte, según Rodríguez-Cairo, Baogarcía & Cárdenas-Lucero (2010) un **proyecto de inversión** es “el conjunto de estudios que permiten sustentar o fundamentar una idea de negocio y tiene como objetivo ejecutar, lograr algo o identificar una solución al planteamiento de un problema o necesidad” (p.23). El proyecto de inversión genera valor, tanto para el que invierte sus recursos como para el usuario que adquiere la solución (producto o servicio).

En resumen de la función de estos tres tipos de proyectos, el proyecto de investigación científica genera ciencia, la cual es aplicada en un proyecto de ingeniería para desarrollar tecnología, que a su vez esta solución tecnológica (nivel prototipo) es el punto de partida para el desarrollo de un proyecto de inversión. En la Figura 1.1 se muestra la relación que existe en la cadena conocimiento-tecnología-valor a partir de estos tres tipos de proyectos.

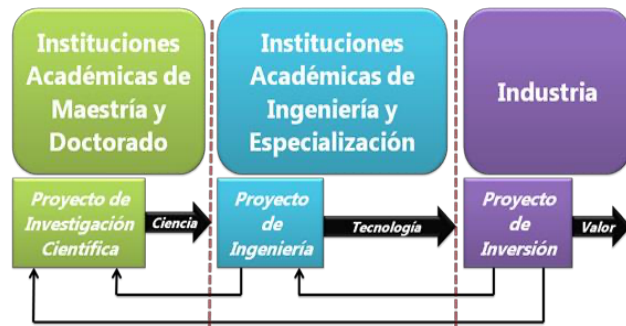


Figura 1.1 Cadena de interacción Ciencia-Tecnología-Valor.

Ahora, es necesario analizar el concepto de **sistema**, ya que éste representa uno de los elementos fundamentales para comprender, modelar, diseñar e instrumentar la complejidad en el desarrollo de un proyecto terminal o proyecto académico de ingeniería. Van Gigch (1993) define a un sistema como “una reunión o conjunto de elementos relacionados, los elementos de un sistema pueden ser conceptos, objetos y sujetos” (p.17).

Los elementos-componentes de un sistema están integrados como una sola unidad, los cuales interactúan por medio de canales de relación lógica con la finalidad de alcanzar un objetivo en común.

Es necesario señalar que los sistemas se componen a su vez de otros sistemas a los que llamamos **subsistemas** (Van Gigch, 1993, p.17).

Además, con base en la relación que existe entre los sistemas y su ambiente o entorno, éstos se pueden clasificar en abiertos y cerrados. Un sistema abierto es aquel que tiene interacción con su ambiente a través de sus entradas y salidas. Por el contrario, un **sistema** cerrado es aquel que no tiene interacción con su ambiente, simplemente no tiene entradas ni salidas.

En lo que respecta a un sistema complejo, éste se caracteriza por la cantidad de elementos-componentes y relaciones lógicas que lo integran, es decir, entre mayor sea el número de elementos-componentes del sistema, éste será más complejo. Esta es la razón principal por la que un sistema de este tipo presenta una gran dinámica en su proceso de transformación interno, debido a la alta suma de interrelaciones entre su a la alta suma de interrelaciones entre sus elementos-componentes, así como de los diversos estados que éste puede presentar por su comportamiento colectivo emergente. Un claro ejemplo de un sistema complejo es un sistema mecatrónico, representado en la Figura 1.2.

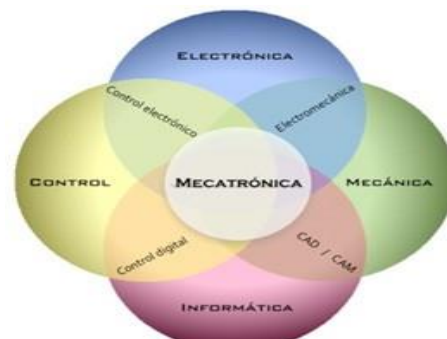


Figura 1.2 Sistema mecatrónico y sus elementos-componentes.

Un sistema mecatrónico integra los conocimientos de la Mecánica, la Electrónica, el Control y la Informática con un enfoque que va desde la ingeniería simultánea o concurrente hasta un enfoque de ingeniería síncrono. Bolton (2010) afirma que “la mecatrónica reúne áreas de la tecnología que involucran sensores y sistemas de medición, sistemas de manejo y actuación así como sistemas de microprocesador, junto con el análisis del comportamiento de sistemas y sistemas de control” (p.1).

El punto importante del concepto y filosofía de la Mecatrónica es la combinación simultánea de la Mecánica, la Electrónica, el Control y la Computación, en un modo integrado de obtener en el producto características de flexibilidad e inteligencia, y en su diseño, una mecánica sencilla, a bajo costo, y facilidad para realizar cambios (Lengerke, Dutra, & Tavera, 2010, p.8).

La esquematización integrada de un sistema abierto, de un sistema cerrado y de un sistema complejo se visualiza en la Figura 1.3, en donde se observa la forma en que éstos se representan, la diferencia que existe con base en la relación que tienen con su entorno, y finalmente su comportamiento en función a la cantidad de elementos-componentes e interrelaciones que represente en forma simple su propia complejidad.



Figura 1.3 Esquematización de un sistema abierto, cerrado y complejo.

Por otra parte, el límite de un sistema lo establece su frontera, la cual puede ser física o no. Fuera de la frontera del sistema se localiza su ambiente. El ambiente es el medio que rodea al sistema, representa el entorno donde está inmerso.

El ambiente es una fuente de recursos y de amenazas. Se conoce también con el nombre de entorno o contexto (Ramírez, 2002, p.29).

Del ambiente o entorno provienen las **entradas** de un sistema. Las entradas normalmente están representadas por materia, energía y datos. Como resultado de la interacción lógica que existe entre los elementos-componentes de un sistema se produce dentro de éste un **proceso de transformación**, en donde las entradas del sistema son transformadas o bien participan activamente en el proceso de transformación necesario para lograr el objetivo o propósito para lo cual fue diseñado el sistema (atributo teleológico). El proceso de transformación de un sistema puede ser físico, químico o evolutivo. Comúnmente para proyectos de ingeniería el proceso de transformación es de tipo físico y químico relacionado a los sistemas duros, ya que los de tipo evolutivo tienen que ver con sistemas compuestos principalmente por recursos humanos (sistemas suaves). Al llevarse a cabo el proceso de transformación dentro del sistema, éste a su vez entrega al ambiente salidas, representadas en productos/servicios, energía transformada e información.

La integración de los conceptos que conforman a un sistema se pueden observar en la Figura 1.4, que tiene como finalidad obtener la estructura general de un sistema abierto y la relación con su entorno o ambiente.

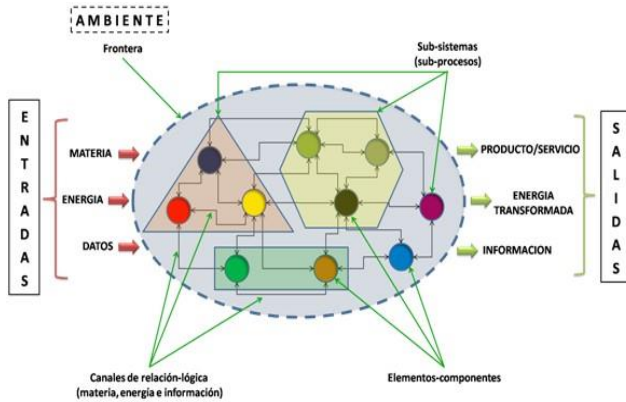


Figura 1.4 Estructura general de un sistema.

Ahora bien, el proyecto de ingeniería, al ser un sistema complejo, debe ser abordado con enfoques, conocimientos, metodologías y técnicas adecuadas para tratar dicha complejidad. Para ello, resulta muy útil la aplicación de la **Teoría General de Sistemas (TGS)**.

La TGS es una teoría con visión unitaria del mundo, tiene la finalidad de modelar objetos, naturales o artificiales, simples o complejos de una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad, principalmente relacionado a formas de trabajo, organizaciones y procesos interdisciplinarios. La TGS proporciona la capacidad de investigación al **enfoque de sistemas**. Ésta investiga los conceptos, métodos y conocimientos pertenecientes a los campos y pensamiento de sistemas. En este contexto, los términos enfoque de sistemas y teoría general de sistemas aplicada se usan como sinónimos (van Gigch, 1993, p.50).

En general, la TGS conforma una manera sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad, permitiendo además formas de trabajo transdisciplinarias. La fundamental característica de éste paradigma se encuentra en su perspectiva holística e integradora, donde lo importante a ser considerado son las interrelaciones y los conjuntos que las mismas permiten distinguir del entorno (Zambrano, 2014, p.2)

De ahí lo importante que el método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales que aquí se presenta, se haya desarrollado con base en la TGS.

Por otra parte, el punto de partida para el desarrollo de un proyecto terminal de ingeniería es la identificación de una necesidad en donde se requiera de tecnología para satisfacerla de manera parcial o total, por ello, lo importante de analizar también su concepto. Según la Real Academia Española (2014), una necesidad es todo aquello a lo cual es imposible sustraerse, faltar o resistir. Es cuando el estado actual de las cosas no es igual al estado deseado. Una necesidad tiene características de obligatoriedad de lo que realmente se solicita, no se basa en simples deseos que carezcan de elementos duros que los justifiquen. Un elemento duro es información oficial de instancias gubernamentales, organizaciones, sociedades, consorcios, etc., que la hacen pública ya que es útil para muchos fines. Un elemento duro sustenta la veracidad e importancia de un determinado planteamiento. Por ello, en el planteamiento de un proyecto, principalmente en lo que se refiere a la problemática y a la

justificación, deben integrar elementos duros que los sustenten. Los elementos duros permiten establecer la autenticidad y la magnitud de la necesidad, y por consecuencia lo importante que representa su solución. Un gran número de protocolos de proyecto que no son autorizados en las instituciones de educación superior en ingeniería, son debido a que carecen de sustento, y esto se debe precisamente a la falta de estos elementos duros que los respalden.

Ahora bien, cuando se requiere obtener una solución a una determinada necesidad y para ello se requiere que dicha necesidad sea planteada en términos ó estructuras científicas, hasta entonces dicha necesidad se convierte en un **problema**.

Según, Krick (1991) afirma que “un problema proviene del deseo de lograr la transformación de un estado de cosas en otro” (p.11). Cabe aquí mencionar que es muy común confundir un problema con un síntoma. Según la Real Academia Española (2014) define un síntoma como “una señal o indicio de algo que está sucediendo o va a suceder”, pero no es un problema. La confusión entre estos dos conceptos se agudiza cuando se desarrolla e instrumenta una solución al sistema en estudio a partir de resolver el síntoma, si esto sucede el sistema en vez de mejorar empeorará.

En este contexto, en la práctica no es común resolver en un proyecto de ingeniería un solo problema, normalmente se hace frente a un determinado conjunto de problemas interrelacionados (sistema de problemas), a esto se le denomina **problemática**. La problemática es parte del resultado del

diagnóstico del sistema en estudio. Por diversas razones, no siempre es posible resolver una problemática en su totalidad, se deben elegir únicamente un determinado número de problemas de la **problemática total**. Al conjunto de problemas seleccionados de la problemática total se le denomina problemática delimitada, dicha selección se lleva a cabo por medio de criterios definidos por el estudiante y su equipo de trabajo. La problemática delimitada define el alcance de la solución del proyecto terminal.

En el momento de afrontar la problemática delimitada del proyecto, ésta se puede visualizar desde dos enfoques: desde la **problemática de proyecto** y desde la **problemática de ingeniería**. La problemática de proyecto se refiere a la necesidad de saber cómo definir o seleccionar el método para desarrollar el proyecto. En el caso de la problemática de ingeniería, ésta es el conjunto de problemas de diversas disciplinas de la ingeniería que hay que resolver de manera integral u holístico para obtener una solución.

Ambas problemáticas no pueden tratarse como una dicotomía. La problemática de proyecto y la problemática de ingeniería forman lo que se denomina **problemática integral emergente del proyecto de ingeniería** (ver Figura 1.5), la cual es una problemática compleja, pero en realidad es con la óptica con la que se debe estructurar la problemática de un proyecto terminal de ingeniería.

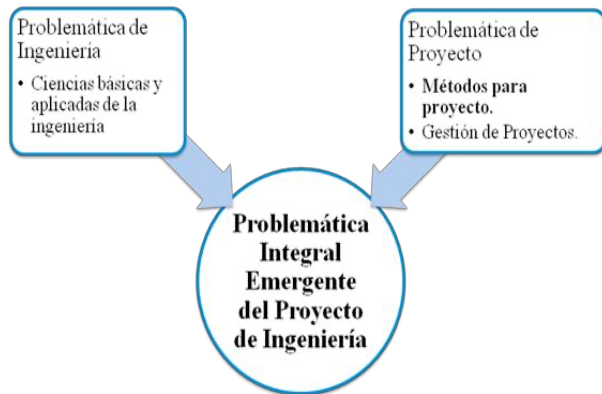


Figura 1.5 Obtención de la problemática integral-emergente del proyecto de ingeniería.

Ahora bien, lo que se busca como resultado, producto o egreso de un proyecto terminal es una solución. Krick (1991) define “una solución como un medio de lograr la transformación deseada; en la mayor parte de los problemas hay muchas soluciones posibles, muchas más de las que haya tiempo de investigar” (p.11). Las soluciones que se obtengan a partir de la aplicación del presente método sistémico se definirán como sistema-solución. Por lo tanto, un **sistema-solución** es el resultado del desarrollo de un proyecto terminal, representa el medio que permite ir del estado actual al estado deseado del problema.

En este mismo contexto, se precisa que el alcance del sistema-solución resultante del proyecto terminal es a nivel prototipo. En este contexto, según la Real Academia Española (2014) un **prototipo** es un ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa. Por su parte, Ulrich & Eppinger (2004) lo definen como “una aproximación física del producto final, incluyendo las dimensiones y características de mayor interés” (p.247).

El proceso para el desarrollo de un prototipo se realiza con la aplicación de un **método**, el cual según la Real Academia Española (2014) se define como la obra que enseña los elementos de una ciencia o arte. Por tanto, un método garantiza orden, estructura y confiabilidad del proceso tecnológico en el desarrollo de una solución.

A su vez, el método se ha estudiado, seleccionado, diseñado y organizado previamente conforme lo establece una metodología. La Real Academia Española (2014) define a una **metodología** como “el conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal”. La metodología es un proceso que se enfoca al desarrollo de métodos para realizar alguna actividad productiva. Por lo tanto, el método sistémico aquí propuesto es resultado del desarrollo de una **metodología**.

Habiendo establecido el sistema conceptual para fundamentar la comprensión de las fases del método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales, a continuación se presentan las diez fases que lo conforman:

1. Fase I: La necesidad del proyecto y su sistema.

La primera fase del proyecto terminal tiene como finalidad identificar, conocer y definir la necesidad que le da origen al proyecto e identificar el sistema en donde se encuentra ubicada. La necesidad representa el punto de partida para el desarrollo de un proyecto de ingeniería y el estudio de su sistema facilita enormemente su comprensión. Aquí, se recomienda mencionar la idea preliminar

que se tenga para solucionar el problema. A continuación se describen los dos planteamientos a desarrollar en esta Fase I:

- *Identificar y validar la necesidad.* Se refiere a identificar la necesidad que se desea resolver y validarla con base en los elementos duros que se tengan disponibles, como información oficial de instancias gubernamentales, organizaciones, sociedades, agrupaciones, que la hacen pública para muchos fines. Se debe tener cuidado de no confundir la detección de una necesidad con la de un síntoma. A pesar de que los síntomas son un medio para llegar a la causa de la necesidad, éstos no son necesidades.

Con la finalidad de garantizar un buen inicio del proyecto terminal, se sugiere no considerar los siguientes tipos de necesidades:

“Triviales”. Son necesidades que no representan un verdadero reto para los estudiantes en el desarrollo de un proyecto, es decir, el desafío no es coherente a su nivel de conocimientos, capacidad, tecnología, habilidades desarrolladas y herramientas que han adquirido durante su formación académica.

“Supuestas”. En este caso se trata de necesidades que los alumnos suponen o imaginan que existen, sin tener una evidencia sólida de su autenticidad, es decir carente de elementos duros.

“Sin recursos”. Esta se refiere a que antes de seleccionar alguna necesidad el alumno considere la suficiente disponibilidad de conocimientos relacionados al tema en estudio (puntos crecientes de la ciencia), recursos humanos, técnicos, económicos y metodológicos, asesores de proyecto, además de especialistas en el tema de la necesidad.

- Definir el sistema en estudio. En este planteamiento se debe definir con precisión el sistema en el que se encuentra localizada la necesidad y la relación que guarda con su ambiente o entorno. Este planteamiento es muy importante, ya que permite que el alumno estudie y comprenda adecuadamente el sistema donde se encuentra la necesidad. Además, se evita que el sistema sea percibido como una caja negra.

2. Fase II: Definición y estudio de la temática de la necesidad.

Esta segunda fase del método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales tiene la finalidad de identificar el tema principal en donde se encuentra inmersa la necesidad del proyecto, para posteriormente, definir las fuentes de información confiables para su consulta, organización, evaluación y estudio. A continuación se describen los planteamientos a desarrollar en esta Fase II:

- *La Temática.* Aquí se define el tema general y particular de la necesidad que da origen al proyecto. Esto será de gran ayuda para focalizar tanto las fuentes de información confiables como los asesores que se integrarán para orientar al alumno en el desarrollo del proyecto.

- *Selección de las fuentes de información a consultar.* Ahora, se seleccionan las fuentes confiables de información, éstas pueden ser revistas científicas, libros, catálogos industriales, diversos manuales, informes gubernamentales, institucionales y corporativos, las cuales representen un medio para documentar sólidamente al alumno en la temática del problema. La selección de las fuentes de información es fundamental para concretizarse en la información que es realmente útil tanto al alumno como al proyecto, y de esta manera evitar búsquedas generalizadas.

Al respecto, Mercado (2012) indica que “en la tarea de recopilación de información es muy importante seguir un orden metodológico y no perder de vista los objetivos del tema” (p.66).

- *Identificación de la información útil al tema.* Las fuentes de información se separan dependiendo principalmente de su naturaleza. Esto se hace porque existe la posibilidad de encontrarse con información de un mismo tema pero con enfoques distintos, y ello puede ser criterio para seleccionarla o no. Aquí la aportación y apoyo de los asesores del proyecto es fundamental, ya que con sus conocimientos y experiencia pueden apoyar en la identificación y selección de la información útil.

- *Estudio de la información seleccionada,* la información seleccionada debe ser estudiada minuciosamente por el alumno, con la finalidad de que se documente en el tema que involucra al problema del proyecto.

3. Fase III: Análisis funcional procedimental del sistema en estudio.

Esta tercera fase del método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales le aporta al alumno un conocimiento detallado del sistema en donde se encuentra inmersa la problemática, representa el proceso para integrar el diagnóstico del sistema en estudio. Además, en esta fase, se estudia del sistema sus elementos-componentes y su función, la relación lógica que existe entre sus elementos-componentes (funcionamiento) y finalmente su proceso de transformación general y sus sub procesos.

El análisis funcional procedimental del sistema se realiza con base en el enfoque sistémico, el cual se caracteriza por tener una visión orientada al todo, a diferencia de hacerlo con base en un enfoque clásico o reduccionista, el cual se caracteriza por tener una visión orientada únicamente a los elementos. En este contexto Ramírez (2002) plantea: “es necesario estudiar no sólo las partes y procesos aislados de un sistema, sino también resolver los problemas encontrados en el mismo como resultado de la interacción dinámica de sus partes, que hace diferente el comportamiento de éstas cuando se estudian aisladas o cuando se consideran dentro del todo”. A continuación se describen los planteamientos de esta Fase III:

- *Análisis del Sistema,* se identifican y describen los elementos-componentes del sistema en estudio y su función.

- *Síntesis del Sistema*, se describen las relaciones lógicas que existen entre los elementos componentes del sistema (funcionamiento), y su objetivo o teleología como una unidad.

- *Estudio de los Procesos del Sistema*, se identifican y estudian el proceso general y procesos internos del sistema en estudio.

4. Fase IV: Problemática delimitada y selección de una alternativa de solución.

La cuarta fase del método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales tiene como finalidad obtener la problemática delimitada del proyecto y una alternativa de solución que resuelva dicha problemática de manera parcial o total. El punto de partida para obtenerlo es a través del diagnóstico que se obtuvo en la Fase III.

A continuación se describen los planteamientos que componen esta Fase IV:

- *Diagnóstico del sistema en estudio*, El diagnóstico sistémico se caracteriza por no enlistar solo problemas, sino más bien las relaciones entre estos problemas, lo cual realmente describe el comportamiento y efectos de una problemática y de un sistema. Ahora bien, con respecto a su localización, los problemas pueden encontrarse en las entradas del sistema (materia, energía y datos) y en sus componentes y procesos internos. En las salidas solo es posible localizar consecuencias o impactos negativos que generan los problemas causales.

Al integrar sistémicamente todos los problemas que arroje el diagnóstico se obtiene la problemática integral o total del sistema. Es importante que al final de construir la problemática se desarrolle una explicación sintética del por qué cada uno de los problemas lo es, se deben integrar suficientes elementos duros que sustenten este planteamiento.

- *Delimitación de la Problemática del Proyecto*, sería muy grato que en todo proyecto se pudieran llegar a resolver todos los problemas que se detecten, pero en ocasiones esto no es posible, ya que pudiesen no existir condiciones suficientes para resolver todos los problemas en un mismo proyecto. La opción entonces, es delimitar la problemática que sí es posible resolver. Delimitar la problemática es establecer un límite o frontera a la problemática integral o total del sistema; significa seleccionar aquellos problemas que sí serán considerados dentro del desarrollo de la solución del proyecto. Una forma de hacerlo es evaluando cada uno de los problemas obtenidos con base en una serie de criterios de selección, previamente definidos y ponderados por el alumno. Algunos criterios para la selección de problemas pueden ser el tiempo disponible para realizar el proyecto, los recursos humanos, técnicos, económicos y metodológicos necesarios, los conocimientos disponibles, entre otros. Finalmente, se seleccionan los problemas que satisfacen los criterios previamente establecidos y se rechazan los restantes. Los problemas seleccionados integran la problemática delimitada del proyecto.

• *Estudio del Estado del Arte.* A través del desarrollo de este planteamiento, se estudian aquellas soluciones que actualmente existen para resolver la problemática del proyecto seleccionada. En este contexto, Campos y Covarrubias & Sosa-Lora (2011) señalan: “el concepto del estudio del estado del arte se usó para referirse a todos aquellos adelantos de orden técnico científico, más tarde el concepto fue retomado por las disciplinas cibernéticas, en particular la información y el lenguaje tecno-científico; sustentado en la TGS” (p.74).

Para efectos del método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales, el estudio del estado del arte apunta hacia las soluciones que actualmente existen, y que de alguna manera resuelvan la problemática en estudio o similar, con esto se puede saber con precisión cómo está siendo tratada la problemática del proyecto y qué tendencia presentan las soluciones actualmente desarrolladas, en donde se pueden aprovechar algunas de sus características para ser adecuadas a la solución de la problemática del proyecto. En este sentido, Doppelt (2005) plantea: “los alumnos deben investigar y analizar sistemas existentes que sean similares a los que están desarrollando” (pp.11-12), con ello se tiene una perspectiva clara de las soluciones que actualmente resuelven de cierta manera la problemática delimitada de su proyecto, y permite posteriormente definir con más precisión las alternativas de solución.

Se sugirió que al final de la Fase I del método, se estableciera la idea preliminar para solucionar la necesidad. A pesar de que la idea en este momento no cuenta con un soporte científico sólido, es muy importante comenzar a visualizar cómo se puede dar solución a la problemática del proyecto. Después de realizar un estudio del estado del arte esa idea se fortalece, ya que se tiene una mejor referencia de las diversas formas en que ha sido enfrentada la problemática en estudio.

• *Alternativas de solución,* en este planteamiento el alumno establece una serie de alternativas de solución que considera puedan resolver de manera parcial o total la problemática del proyecto. Estas alternativas de solución son resultado de estudios previos, del proceso creativo y de la misma experiencia de los alumnos. Las alternativas de solución que se establezcan no únicamente deben ser relacionadas al área de ingeniería del estudiante, en caso de que se identifiquen otras alternativas de solución de otra área del conocimiento es importante mencionarlas.

En este contexto, Krick (1991) plantea que “un problema involucra algo más que hallar una solución; requiere encontrar una forma preferible de lograr la transformación deseada” (pp. 11-12).

Posteriormente al establecimiento de las alternativas de solución, se selecciona la(s) que a criterio del alumno es la mejor desde el punto de vista tecnológico, económico, social, ambiental y humano.

69 • *Estudio de Viabilidad y selección del concepto del sistema-solución.* Después de que el estudiante ha definido las alternativas de solución a la problemática del proyecto, es necesario que sus asesores ayuden a elegir la mejor, aunque también es posible seleccionar como solución la sinergia entre 2 ó más alternativas (solución híbrida). Para lograrlo se lleva a cabo un estudio de viabilidad, el cual es aplicado a cada una de las alternativas de solución que se hayan planteado, con la finalidad de determinar cuál de las opciones cuenta con mayor factibilidad para su selección y desarrollo. El estudio de viabilidad se compone de las siguientes evaluaciones:

Evaluación física, se refiere a evaluar la construcción física de cada una de las alternativas de solución (materiales, procesos de manufactura, tratamientos, montaje e instalación de periféricos, etc.).

Evaluación económica, se refiere a estimar el costo del prototipo de cada alternativa de solución y compararlo con las consecuencias que ha generado o que generará la problemática en el sistema en estudio. Con base en esto, se analiza el resultado de mayor a menor factibilidad de la relación costo-beneficio.

Evaluación financiera, aquí se evalúan los distintos medios de financiamiento para cada una de las alternativas de solución.

El estudio de viabilidad evita invertir una mayor cantidad de recursos antes de continuar con en el desarrollo de las siguientes fases del método y como tal del proyecto, evitando desaprovechar recursos en una alternativa de solución con menor factibilidad. La alternativa de solución que aprueba el estudio de viabilidad se convierte en el concepto del sistema-solución.

5. Fase V: El Anteproyecto.

El Anteproyecto tiene como finalidad optimizar el concepto del sistema-solución para su completa aceptación. En este contexto, Hesse (2000) plantea: “cada solución tiene que someterse a un análisis minucioso y confeccionarse a medida para que cumpla los requisitos necesarios” (p.9).

Para obtener lo anterior, a continuación se describen los planteamientos de esta Fase V:

• *Marco Teórico y Contextual*, el marco teórico integra aquellos conocimientos que se aplican para identificar, comprender y plantear el problema en estudio, así como aquellos que posteriormente serán utilizados en el desarrollo de la solución. Por lo tanto, la rigidez científica en un proyecto la aporta el marco teórico. De esta manera, a partir de conceptos, teorías, metodologías, métodos de corte científico se fundamenta el desarrollo del proyecto.

En el marco teórico, el alumno aparte de integrar los conocimientos que utilizará a lo largo del proyecto debe incluir comentarios y opiniones en relación a su aplicación.

Por su parte, el marco contextual integra información relacionada al ambiente del problema en estudio que es muy importante conocer ya que impacta en el desarrollo de la solución. Es importante recordar que toda solución tecnológica debe adaptarse a su ambiente, y justamente el marco contextual aporta la información necesaria para lograrlo. El marco contextual se integra de contextos, que pueden ser de tipo normativo-legal, geográfico, físico, temporal, organizacional, cultural, político, social, geográfico, histórico, entre otros.

• *Preparación de una especificación*, este planteamiento se realiza con la finalidad de establecer aquellos requerimientos o también llamados por Krick (1991) restricciones, las cuales son “algo que debe cumplir una solución” (p.12). En este caso, se refieren a todas aquellas consideraciones que debe cumplir la solución del proyecto como normas, especificaciones, acuerdos, referentes a energía, tecnología, protocolos de comunicación, materiales, medidas de seguridad y ambiente, etc.

Principalmente en el ámbito industrial, es muy común cumplir con ciertos requisitos ya establecidos por el propio Usuario Final. En este caso, al tratarse de un proyecto académico es importante que el alumno desarrolle su propia especificación.

• *Modelo del Concepto*, éste se realiza con la finalidad de facilitar la manipulación de la alternativa de solución seleccionada. El tipo de modelo a utilizar será decisión del alumno, será aquel que se acople a las propias características, especificaciones y necesidades del proyecto.

Al respecto, Norton (1999) afirma que “el éxito de cualquier diseño depende en mucho de la validez y de lo apropiado de los modelos de ingeniería que se utilicen para prever y analizar su comportamiento antes de elaborar cualquier herramienta” (p.10).

El modelo del concepto puede ser matemático, dibujo tridimensional, diagramación, virtual (software), una combinación de modelos, entre otros.

En realidad, al modelo del concepto normalmente le precede un bosquejo. Un bosquejo de la idea suele ser el inicio de cualquier diseño. Pudiera ser un bosquejo a mano alzada, pero debería estar siempre razonablemente a escala y así mostrar proporciones geométricas realistas. Este bosquejo tiene como objetivo primario comunicar la idea a otros ingenieros e incluso a uno mismo. Una cosa es tener una idea vaga en mente y otra tenerla clara y definida en un bosquejo. Aunque suele resultar incompleto en función del detalle necesario para la manufactura, el bosquejo de ingeniería deberá contener información suficiente para permitir la elaboración de un modelo de ingeniería con fines de diseño y análisis (Norton, 1999, p.11). Posteriormente a la obtención del modelo del concepto, se realizan los siguientes tres análisis: estabilidad, sensibilidad y compatibilidad de manera paralela, lo cual permita ir ajustándolo u

optimizándolo hacia los parámetros establecidos en la especificación. En dicha optimización, se logra ajustar el modelo con referencia a la mejor combinación de los tres análisis que permita su completa aceptación. Krick (1991) define a la optimización como “el proceso de buscar el valor, la condición o la solución óptimos” (p.92). Los análisis de estabilidad, sensibilidad y compatibilidad y el proceso de optimización se describen a continuación.

- *Análisis de Estabilidad*, aquí se determinan los elementos y perturbaciones que pueden afectar parcial o totalmente el funcionamiento del modelo.
- *Análisis de Sensibilidad*, en este análisis se establecen los límites aceptables para la operación del modelo y garantizar su función dentro de dichos límites.
- *Análisis de Compatibilidad*, la finalidad de este análisis es hacer compatibles las entradas del modelo que transforma dichas entradas en salidas adecuadas (relación con el entorno).
- *Optimización*, es el proceso en donde se realizan los ajustes al modelo del concepto solución con base en lo que vayan aportando simultáneamente los análisis de estabilidad, sensibilidad y compatibilidad. Esta optimización debe realizarse antes de llevar al modelo del concepto solución al diseño de ingeniería.

Cuando se ha finalizado con la Fase V del método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales, se puede considerar ya al modelo del concepto como la alternativa de solución del proyecto terminal.

Con lo anterior, es posible también estructurar el nombre del proyecto conjuntamente con el Asesor, el cual no debe confundirse con el nombre de la solución.

6. Fase VI: El planteamiento y teleología del proyecto.

El planteamiento del proyecto tiene como finalidad establecer las bases que permiten conocer tanto el estado actual y deseado de la problemática en estudio, las metas y beneficios que se esperan de la solución tecnológica resultante del proyecto.

Los elementos que integran el Planteamiento proveen directrices y componentes fundamentales del proyecto, los cuales resultan claves al finalizarlo para desarrollar y entender los resultados. Por lo que la primera conclusión de un proyecto terminal será evaluar qué ocurrió con el planteamiento del proyecto.

A continuación se describen los planteamientos a desarrollar en esta **Fase VI:**

- *La problemática*, en este planteamiento se precisa cuáles fueron las razones que motivaron al alumno a escoger esta problemática como punto de partida para el desarrollo de su proyecto terminal.

Posteriormente, se describe la problemática y su entorno soportada por datos duros. En este planteamiento se define detalladamente la situación-problema, así como las consecuencias que actualmente pudiesen existir o que están por surgir como consecuencia de no atender dicha problemática.

- *Objetivos*, aquí es donde se establecen las metas del proyecto (alcance). Se desarrolla un objetivo general que se enfoca en la solución del proyecto con la finalidad de optimizar el proceso al que sistémicamente pertenece. También se desarrollan los objetivos específicos que responden a cada uno de los problemas que componen la problemática del proyecto. Como se puede observar los objetivos son del proyecto y no solo de la solución. Los objetivos deben ser reales, alcanzables y cuantificables.

- *Justificación*, en este planteamiento se describe a quién y en qué beneficia el desarrollo del proyecto con base en datos duros. Además, la justificación, explica por qué es necesario e importante su realización.

7. Fase VII: La planeación del sistema-solución.

La Planeación es un elemento que hace la diferencia de un proyecto con el resto de las actividades. La Planeación tiene como objetivo lograr un plan en donde queden establecidas entre otras cosas qué acciones del proyecto han de realizarse, cuándo se realizarán, quién las realizará y con qué recursos.

A continuación se describen las secciones a desarrollar en esta **Fase VII**:

- *Definición del Plan para el Desarrollo del Sistema-Solución*, aquí se definen cada una de las actividades para desarrollar el sistema-solución.

- *Definición de las tareas del Plan*, es la división del trabajo en cada tarea para su gestión.

- *Definición de los Recursos necesarios para cada tarea*, se refiere a los recursos humanos, técnicos y económicos necesarios para realizarlas.

- *Establecer la procedencia entre tareas*, significa definir la relación entre acciones para determinar su orden crítico.

- *Establecer la duración de cada tarea*, representa el tiempo en que se llevará para su realización, que permita finalizar el sistema-solución en el tiempo estipulado.

- *Establecer el objetivo de cada tarea*, constituye las metas parciales a alcanzar con cada tarea para el desarrollo de la solución.

- *Establecer el tiempo para la realización de cada tarea*, se refiere a destinar tiempo en la tarea para poder tener margen de reacción en caso de presentarse alguna eventualidad.

73

Para la esquematización del plan del proyecto terminal, se pueden hacer uso de una gran cantidad de herramientas de cómputo para este fin. Los paquetes de software para administrar proyectos tienen hoy una amplia difusión, se dividen en programas de bajo costo, diseñados para un solo usuario en una computadora personal, y programas de mayor costo, diseñados para una red de un conjunto de computadoras. La mayoría de los paquetes comerciales de software para administrar proyectos se basan en el método de la ruta crítica (CPM); es decir, se supone que todos los parámetros, como la duración de las tareas, son conocidos y constantes. Casi todos los paquetes de software sirven para dibujar diagramas de Gantt (diagramas de barras), redes de precedencias e histogramas de niveles de recursos, así como para realizar cálculos básicos y proporcionar otros diagramas y cálculos para planeación y control. Además del software para administración de proyectos hay cada vez más “complementos” que incrementan la funcionalidad de los productos para administrar proyectos (Klasterin, 2010, p.18).

En este contexto, el tiempo de desarrollo del proyecto es la preocupación dominante en su planeación y ejecución. Algunos de los lineamientos que se sugieren para acelerar los proyectos son: empezar a tiempo el proyecto, administrar el alcance del proyecto, facilitar el intercambio de información esencial, completar más rápido las tareas individuales en la ruta crítica, agregar tiempos de seguridad, eliminar en su totalidad algunas de las tareas de la ruta crítica, eliminar los retrasos por

espera para los recursos de la ruta crítica, traslapar tareas críticas seleccionadas, ramificar las tareas grandes, realizar mediante consultoría algunas tareas, realizar más iteraciones con rapidez, desacoplar tareas para evitar iteraciones, considerar conjunto de soluciones (Ulrich & Eppinger, 2004, pp. 343-346).

8. Fase VIII: Diseño de ingeniería del sistema-solución.

Es importante resaltar que llegar a una solución tecnológica con base en esta estructura de trabajo no se logra de manera accidental, se requiere de un proceso sistemático que lo vaya construyendo de manera progresiva. De ahí la importancia de llevar a cabo el diseño de ingeniería del sistema-solución.

En esta parte, no se debe olvidar mantener una visión sistémica para integrar las diferentes áreas de la ingeniería y otros conocimientos que apliquen, sin perder de vista también generar propiedades emergentes en el sistema-solución que representen beneficios reales o valor al sistema en estudio. Las propiedades emergentes en su conjunto deben dar respuesta de una manera sistémica a las diferentes ópticas o aristas de la problemática en estudio. Con las propiedades emergentes, no se piensa únicamente en las funciones individuales del sistema-solución, sino más bien se considera todo el proceso en su conjunto para potencializarlo en lo posible.

Si únicamente se considerase un aspecto de este proceso, es muy posible que la solución no sea adecuada. Basta analizar los sistemas existentes en la naturaleza para entenderlo: un sistema complejo está destinado a desaparecer si sólo dispone de una

función óptima; más bien es necesario que disponga de muchas funciones que cumplan su cometido con la calidad mínima necesaria. Ello significa que no se debe pensar únicamente en las funciones individuales, debiendo considerar más bien todo el proceso en su conjunto. En otras palabras, las soluciones tienen que configurarse aplicando criterios generales (Hesse, 2000, p.12).

En resumen, las soluciones tecnológicas que se obtengan como resultado de un proyecto de ingeniería tienen que desarrollarse aplicando criterios generales o sistémicos.

A continuación se describen los planteamientos a desarrollar en esta Fase VIII:

- *Síntesis de la Solución*, se refiere a detallar las relaciones lógicas entre los elementos componentes del sistema-solución a diseñar, es decir, una descripción de su funcionamiento.
- *Análisis de la Solución*, aquí se definen los elementos-componentes del sistema-solución y su función.
- *Cálculos Analíticos*, éstos se deben realizar principalmente aplicando las ciencias básicas y aplicadas de la ingeniería para tomar decisiones con respecto al diseño integral y estructurado del sistema-solución. Los resultados de los cálculos analíticos son de gran utilidad y base para el desarrollo de los planos de ingeniería.

- *Planos de Ingeniería*, se refiere al desarrollo de los dibujos técnicos y diagramas de ingeniería para representar el sistema-solución, de tal manera que ésta se pueda construir sin información adicional. Además estos planos serán parte fundamental de los entregables al final del proyecto. Por enfocarse el alcance del presente método a sistemas mecatrónicos, será común plasmaren planos de ingeniería el resultado del:

Diseño mecánico. García (2015) afirma que el diseño mecánico “se dedica en gran medida al cálculo de transmisiones y elementos mecánicos” (p.35).

Este diseño integra todos los componentes mecánicos tanto estáticos como dinámicos del sistema-solución. Es importante definir en los planos mecánicos información relacionada a los materiales, tratamientos especiales, tolerancias, procesos de manufactura, acabado superficial, pruebas de inspección, cumplimiento de especificaciones y normatividad, etc. Aquí se recomienda que en el grupo de planos no solo se integre aquellos relacionados a los de los componentes mecánicos sino también el dibujo tridimensional para efectos de funcionalidad. Según Garcia (2015) “para que este diseño sea correcto debe de satisfacer los siguientes puntos: función, producción, costo y apariencia” (p.43)

Diseño de automatización y control. Este diseño integra la Parte de Mando y la Parte Operativa de la solución a desarrollar, también llamado automatismo.

El término de automatización fue acuñado en 1947 por Delmar S. Halder de la compañía automovilística Ford en Detroit. Halder opina que la automatización debería ser un concepto global que abarque todos los diseños y dispositivos realizados para conseguir una plena automatización de la producción (Piedrafita, 2010, p.6).

Este diseño va enfocado a la inteligencia del sistema a través de su funcionamiento autónomo. Dependiendo de la complejidad del sistema, éste puede tener un alcance de desarrollo mecatrónico.

Eco diseño, se establecen los lineamientos para diseñar, construir, operar y finalmente establecer la disposición final del sistema-solución como un proceso verde, enfocado a minimizar su impacto negativo al medio ambiente en todas estas fases.

En términos generales, el término eco diseño significa que el ambiente contribuye a definir la dirección de las decisiones que se toman en el diseño. En otras palabras, el ambiente se transforma en el conductor del desarrollo de un producto o un servicio. En este proceso se le asigna al ambiente el mismo estatus que a los valores industriales más tradicionales, tales como: rentabilidad, funcionalidad, estética, ergonomía, imagen, calidad (Velásquez, 2003, pp.1-2).

- *Cálculo del Costo del Prototipo*, aquí se obtiene el gasto económico que representa el desarrollo y construcción del prototipo, integrado por los costos relacionados con los distintos recursos humanos requeridos, compra de equipos,

materiales y componentes comerciales, diversos misceláneos, adquisición de servicios externos, entre otros.

Hoy en día existe una amplia gama de herramientas computacionales como apoyo para realizar cada uno de los diseños de ingeniería antes mencionados, se recomienda su uso ya que éstos aportan beneficios principalmente en la optimización recursos, e igualmente, como soporte a los resultados obtenidos en el desarrollo de la propia ingeniería del sistema-solución. Es importante señalar que estas herramientas computacionales (como simuladores), no sustituyen de ninguna manera al desarrollo de la ingeniería que realizan los estudiantes con sus asesores, se sugiere su uso únicamente para fines referenciales.

9. Fase IX: La Construcción del sistema-solución.

La construcción del prototipo del sistema-solución es una actividad que aporta importantes beneficios a los alumnos principalmente en la parte experimental, que indudablemente son elementos isomorfos de lo que en un futuro cercano se encontrarán en la solución de problemas industriales. Al respecto, Tutunji, et al., (2009) recomiendan: “construir el prototipo, probarlo y evaluarlo (modificando si es necesario)”. Los objetivos de llevarlo a cabo, según Ulrich (2004), se basa en que “los prototipos se utilizan para cuatro propósitos: aprender, comunicarse, integrar y verificar” (p.249), y efectivamente en el presente método se busca alcanzar estas metas al desarrollar el sistema-solución.

A continuación, se describe cada uno de los planteamientos que integran esta **Fase IX**:

- *Fabricación y adquisición de elementos-componentes* de la solución, con base en el resultado del diseño del sistema-solución se adquieren los componentes comerciales, y los que no lo son se fabrican para integrar todos los componentes definidos en los planos de ingeniería.
- *Ensamble, integración y pruebas preliminares*, aquí es en donde se integran tanto los elementos manufacturados como los adquiridos para construir el sistema-solución. Dicha integración comprende ensambles, montajes, instalación de diversos servicios generales (energía eléctrica, neumática e hidráulica, vapor, agua, entre otros.).
- *Programación y ajustes de los elementos* compontes del sistema, esta parte es principalmente en caso de que la solución vaya integrar un controlador e instrumentación industrial para su funcionamiento. En la programación del elemento controlador se establece la secuencia que realizará el sistema-solución como parte de la inteligencia de máquina.
- *Pruebas de la secuencia en modo manual por pasos*, esta prueba se recomienda realizar principalmente por aspectos de seguridad, se realiza la secuencia de control por pasos o fases de funcionamiento accionando cada uno de éstos de manera manual, con ello se reduce el riesgo de llevar a cabo un ciclo completo de operación en donde los Recursos Humanos involucrados y las instalaciones puedan llegar a sufrir daños físicos. Además, estas pruebas sirven para ir validando la adecuada funcionalidad en cada paso de la secuencia de operación.
- *Pruebas de ciclo completo en modo manual y automático*, estas pruebas permiten validar la funcionalidad del sistema en un solo ciclo completo de operación, tanto en modo manual como automático.
- *Programa de capacitación y entrenamiento*, la capacitación consta de todos aquellos conocimientos que permitan conocer al detalle el funcionamiento del sistema-solución; este programa de capacitación debe estar diseñado también para el desarrollo de habilidades encaminadas a resolver sistemáticamente las fallas que se lleguen a presentar en su periodo productivo, además de llevar a cabo el mantenimiento del sistema, su operación, y en determinado momento, realizar ajustes para su mejor desempeño. El programa de capacitación se enfoca al personal que será responsable del sistema-solución. Por otra parte, el programa de entrenamiento se refiere únicamente a instruir a los usuarios en la operación del sistema-solución.
- *Puesta en marcha, habiendo terminado todos los ajustes y pruebas necesarios*, y habiendo también finalizado las actividades de capacitación y entrenamiento, ahora se hace la puesta en macha del sistema-solución, lo cual se refiere a ponerlo en operación en modo productivo total.
- *Entregables*, se refiere a la entrega de toda la información técnica a último nivel del sistema-solución. Es muy importante que todo cambio o ajuste que se haya realizado durante el desarrollo del sistema-solución, sea actualizada directamente en la información técnica.

- *Liberación del proyecto*, es la aceptación del sistema-solución por parte del Comité Evaluador.

Finalmente, es importante mencionar que existen otras actividades paralelas a considerar durante esta fase de la construcción del prototipo, como lo son: el control de planificación, la identificación del camino crítico, la gestión de tiempo y la reducción de tareas.

10. Fase X: La Evaluación Integral del Proyecto.

Para iniciar con la evaluación integral del proyecto, se realiza el análisis funcional procedimental del sistema-solución propuesto, con el objetivo de verificar con base en su funcionamiento el nivel de cumplimiento con respecto a la problemática planteada al inicio.

Además, en esta fase también se lleva a cabo la evaluación del desempeño del alumno con su Equipo de Trabajo. En este contexto, Según la División de Organizaciones Sociales del Gobierno de Chile (2001) menciona “la evaluación más conocida responde a la pregunta ¿Se lograron los objetivos propuestos?”. A continuación se describe cada uno de los apartados a desarrollar en esta Fase X:

- *Conclusiones*, estas no son únicamente de la solución obtenida sino del proyecto en general. En relación a la solución, en esta se realiza la comparación entre los objetivos planteados y los resultados obtenidos.

- *Recomendaciones*, aquí se establecen las bases para solucionar los problemas y alternativas de solución no seleccionados en el proyecto. Se incluyen mejoras en el sistema-solución propuesto, además de experiencias y lecciones de aprendizaje vividas por los alumnos durante el desarrollo del proyecto, las cuales sean importantes resaltar para quienes decidan en un futuro tomarlo como base para trabajar en este mismo proyecto o en el mismo tema del proyecto.

- *Limitaciones*, se describen cuáles fueron los temas en que el equipo de trabajo entró en debate para definir alguna situación trascendental dentro del rumbo y gestión del proyecto. Esta información es muy útil sobre todo porque los alumnos comienzan a establecer debates en relación a diversos temas que envuelve el proyecto y a defender con bases estructuradas sus opiniones.

- *Isomorfismos tecnológicos*, es importante tomar en cuenta la idea que surgió para resolver la problemática del proyecto, la cual puede ser aprovechada para atender problemáticas con estructura similar, inclusive independientes al área de ingeniería. Se trata de una extraordinaria oportunidad para que la idea generada tenga un aprovechamiento e impacto positivo mayor.

- *Divulgación*, es importante llevar a cabo la divulgación de los sistemas-solución desarrollados a partir de estos proyectos académicos de ingeniería, en diferentes foros científico-tecnológicos. Los comentarios y sugerencias de la comunidad científica y tecnológica siempre representarán una inigualable oportunidad de mejorar lo realizado.

DISCUSIÓN

Actualmente se observa una gran dinámica en la especialización de diversas áreas del conocimiento. Por ejemplo, existe un notable movimiento de convergencia en la ciencia y la enseñanza de forma acelerada. Están apareciendo nuevos temas, enormemente interdisciplinarios según los patrones tradicionales, y en muchos casos forman la punta de lanza de la investigación. Estos campos interdisciplinarios no siguen el esquema clásico de las ciencias formadas por varias disciplinas; la unión de varios sub campos particulares da lugar a un nuevo campo. El proceso es muy diverso y en constante cambio (Pagels, 1989, p.35).

En este contexto, ha existido el debate en relación a las diferencias entre el enfoque analítico y el enfoque sistémico para el estudio de sistemas que integran la ciencia, la tecnología y la educación en ingeniería.

El estudio de los sistemas se puede hacer desde: una óptica diferenciadora o analítica o desde una óptica integradora o sistémica, en el primer caso se habla de un enfoque analítico, en el segundo de un enfoque sistémico. En el enfoque analítico se parte del principio de considerar aisladamente y con gran detalle las diferentes partes del sistema, perdiendo la visión del conjunto. En el enfoque sistémico se prioriza la visión del conjunto a costa de perder los detalles. El enfoque sistémico es una herramienta para la comprensión global de acciones, procesos y artefactos, y no debe reducirse a la aplicación rutinaria de esquemas de representación, sino que debe explorarse en su potencialidad, analizando las interacciones que se producen en un

sistema, de las cuales emergen propiedades no reconocibles en ninguno de sus elementos o partes (sinergia). Uno de los aspectos relevantes del enfoque sistémico es la capacidad que aporta como ordenador y generador de preguntas en relación al sistema en estudio, con un esquema de abordaje que es generalizable a otros sistemas y a distintas jerarquías de sistemas (Gay, 2002, p.9).

Si se considera que la alta complejidad que tienen los sistemas tecnológicos dificulta el estudio de su comportamiento, contar con un enfoque más integrador o globalizador, como lo es el enfoque sistémico sin duda es de gran utilidad. Por tanto, para comprender y describir la complejidad de los sistemas y soluciones tecnológicas, el enfoque sistémico es el adecuado, en virtud de que engloba la totalidad de los elementos del sistema estudiado, así como sus interacciones y sus interdependencias, y sirve como guía para interrogarse sobre el comportamiento de los sistemas.

En este contexto, Chiaventato (1999) menciona que “las propiedades de los sistemas no pueden describirse en términos de sus elementos separados. La comprensión de los sistemas sólo ocurre cuando se estudian globalmente, involucrando todas las interdependencias de sus partes” (p.768).

Por ello, el método sistémico para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales se desarrolló con base en el enfoque sistémico, principalmente por su complejidad organizada y comportamiento.

Para concluir, la propuesta sistémico-metodológica aquí presentada es una alternativa para el desarrollo de proyectos mecatrónicos terminales, y esta representa una muestra del desarrollo de soluciones con base en la aplicación de la Teoría General de Sistemas. Además, la TGS al ser una ciencia integradora y totalizadora, permite modelar soluciones a problemas con estructura similar, lo que significa que a partir de este trabajo de investigación es posible generar importantes isomorfismos metodológicos. Además, este método sistémico representa una herramienta de apoyo para los estudiantes, docentes e interesados en el ámbito de los proyectos académicos de ingeniería, principalmente con problemáticas multi-causales y complejas. Favorece el proceso creativo y aporta herramientas que potencializan el análisis y la síntesis de sistemas, encaminado al desarrollo de soluciones tecnológicas con propiedades emergentes, que realmente logren el mejoramiento de los sistemas. En este sentido, van Gigch (1993) menciona que “el mejoramiento significa la transformación o cambio que lleva a un sistema más cerca del estándar o de la condición de operación normal” (p.17), y en realidad ese es el objetivo principal. Por su parte, los alumnos con base en sus comentarios dentro de las sesiones de conclusión del curso, consideran que lo más importante de un proyecto no es solo la solución obtenida, sino todo proceso de aprendizaje durante su desarrollo. En lo que respecta a las habilidades que desarrollaron, el proyecto de ingeniería les representó una actividad

para la interacción permanente entre los miembros del Equipo de Trabajo, lo cual impacta en el desarrollo de diversas prácticas de comunicación, asignación y manejo de tareas y recursos, pensamiento sinérgico, entre otros. También, los estudiantes comprenden que el orden que guardan los Reportes de los Proyectos y Tesis, localizadas en bibliotecas y diversas fuentes virtuales, no representa el orden en que éstos fueron realizados, por lo que éstos no deben recomendarse como un apoyo metodológico que explique el orden y los procedimientos en que estos proyectos fueron realizados.

Además, el método sistémico aquí expuesto impacta positivamente en el desarrollo laboral futuro de los estudiantes, ya que ellos cuentan con una base sólida de las fases y procedimientos para realizar un proyecto de ingeniería, que progresiva y dinámicamente irán adecuando a las características de un proyecto industrial. Dentro de las oportunidades y retos que visualiza Krick (1991) para el futuro ingeniero es que “tiene para elegir una amplia variedad de tipos de trabajo, campos de especialización y áreas de problemas, que se adaptan a una gran diversidad de talentos e intereses” (p.195), y para ello, requieren herramientas entre las cuales se encuentran las sistémicas para lograrlo.

Ahora bien, en lo que respecta a los estudiantes que están a punto de iniciar su proyecto académico de ingeniería, los mismos proyectos realizados con la aplicación del presente método, representan una fuente importante de temas y problemáticas

disponibles para plantear un nuevo proyecto terminal, solo bastaría revisar las recomendaciones e isomorfismos tecnológicos de los proyectos ya realizados.

Finalmente, docentes que imparten la asignatura de Proyecto de Ingeniería expresan su aceptación al método, entre otras cosas, porque no se trata de una regla rígida en el desarrollo del proyecto académico de ingeniería, sino por el contrario, representa un método flexible que permite dar cabida a los particulares estilos de desarrollar ingeniería, evitando obstaculizar entre otras cosas el proceso creativo.

REFERENCIAS

- Becerra, A. & Sánchez A. (2000). La planificación sistémica en el contexto educativo. Recuperado de: http://servidor-opsu.tach.ula.ve/profeso/sanch_alf/ponencias/la_planifica_sis.pdf
- Bertalanffy, L. von (2004). Teoría general de los sistemas. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bolton, W. (2010). Mecatrónica. Sistemas de Control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. México: Alfaomega.
- Campos y Covarrubias, G. & Sosa-Lora, V. (2011). Estrategias metodológicas para la elaboración de tesis de posgrado. México: Miguel Ángel Porrúa.
- Chiavenato, I. (1999). Introducción a la Teoría General de la Administración. Colombia: McGraw Hill.
- División de Organizaciones Sociales, Gobierno de Chile (2001, 20 de noviembre). Diseño y elaboración de proyectos. Recuperado de <http://www.qmtltda.com/phocadownload/G.Academica/doc%206.%20como%20hacer%20proyectos.pdf>
- Doppelt, Y. (2005). Assesment of projects-based learning in a machatronics context. Journal of Technology Education, 2 (16), pp. 11-12.

García, G. (2015, 2 de julio). Un proceso general de diseño en Ingeniería Mecánica. Recuperado de, http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=11&ved=0CFoQFjAKahUKEwja_rqg1d_GAhWXFpIKHcSBAnE&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4902645.pdf&ei=bqWnVdqPNJetyATEg4qIBw&usg=AFQjCNH45H9zcuGo6J38sK6se41a0VN_WA

Gay A. (2002). Los sistemas y el enfoque sistémico. Recuperado el 13 de Junio de 2015 de, http://www.manuelugarte.org/modulos/biblioteca/g/texto_2_aquiles_gay.pdf

Gich, J. van (1993). Teoría general de sistemas. México: Trillas.

Gómez-Mejía, M.I. (2013, 19 de enero). Reflexiones sobre cómo se está dando la educación en ingeniería en México. Recuperado de http://wwai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/migm/trabajo_de_ingreso_final_migm.pdf

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2006). Metodología de la Investigación. México: Mc. Graw Hill.

Hesse, S. (2000). 99 Ejemplos prácticos de aplicaciones neumáticas, Serie Blue Digest on Automation. Esslingen, Alemania: Festo AG & Co.

Klastorin, T. (2010). Administración de Proyectos. México: Alfaomega.

Krick, E.V. (1991). Introducción a la Ingeniería y al Diseño en la Ingeniería. México: Limusa.

Lengerke, O., Dutra. M.S., & Tavera, M. (2010, August). Mechatronics education – synergistic integration of new paradigm for engineering education. VI National Congress of Mechanical Engineering, 18-21 August. Campina Grande, pp. 1-9. Recuperado de: <http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1718.pdf>

Mercado, S. (2012). ¿Cómo hacer una tesis? Licenciatura, Maestría y Doctorado. México: Limusa.

Norton, R.L. (1999). Diseño de máquinas. México: Prentice Hall.

Pagels, H.R. (1989). The Dreams of Reason, the computer and the rise of the sciences of complexity. NY: Bantam Books.

Piedrafita, R. (2010). Ingeniería de la Automatización Industrial. México: Alfaomega.

- Ramírez, L.A. (2002). Teoría de sistemas. Recuperado el 10 de Marzo de 2011, de http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060001/Material_extra/Teor%C3%Ada%20de%20Sistemas.pdf
- Real Academia Española. (2014, 7 de marzo). Diccionario de la lengua española. Recuperado de: <http://www.rae.es/>
- Rodríguez-Cairo, V., Bao-García, R., & Cárdenas-Lucero, L. (2010). Formulación y Evaluación de Proyectos. México: Limusa.
- Rosell-Puig, W. & Más-García, M. (mayo-junio, 2003). El enfoque sistémico en el contenido de la enseñanza. Educación Médica Superior, 17(2). Recuperado de, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_atet&pi=S0864-21412003000200002#autor
- Rosnay, J. (1977) El Macroscopio. Madrid: Editorial AC.
- Secretaría de Economía (2012, 4 de Abril). Diagnóstico y prospectiva de la mecatrónica en México. Reporte final. Recuperado de, http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Estudios/Diagnostico_Prospectiva_Mecatronica_Mexico.PDF.
- Tamayo y Tamayo, M. (2012). El proceso de la investigación científica. México: Limusa.
- Tutunji, Tarek A., Saleem A. & Rabbo S.A. (2009). An Undergraduate Mechatronics Project Class at Philadelphia University, Jordan: Methodology and Experience. IEEE Transactions on Education, 52 (3), 365-374.
- Ulrich, K.T. & Eppinger S.D. (2004). Diseño y desarrollo de productos. Enfoque multidisciplinario. México: McGraw Hill.
- Valencia-Giraldo, A. (2004). La relación entre la ingeniería y la ciencia. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía, 031, 156-174.
- Velásquez, G (2003). Eco diseño. Una herramienta efectiva para innovar productos y servicios amigables con el medio ambiente. Éxito Empresarial., 7, 1-7.
- Zambrano, H. (2014, 7 de mayo). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas y la cibernética. Recuperado de: <http://www.galleanoyzamorano.com.ar/facultad/pp2-23.pdf>
- Zapatero-Campos, J.A. (2010). Fundamentos de Investigación para Estudiantes de Ingeniería. México: Tercer Escalón Editores.