



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA

Introducción a la Ingeniería de Sistemas

Material Instruccional de Apoyo

Ingeniería de Sistemas



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA
VICERRECTORADO ACADÉMICO
AREA: INGENIERÍA / CARRERA: INGENIERÍA DE SISTEMAS

MATERIAL INSTRUCCIONAL DE APOYO

Nombre: INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA DE SISTEMAS

Código: 327

U.C.: 3

Carrera: Ingeniería de Sistemas

Código: 236

Semestre: I

Prelaciones: Ninguno

Prerequisitos: Ninguno

Autor: MSc. Marlene Martínez (Especialista de Contenido)

Comité Técnico: Ing. Judit Carvallo (Coordinadora de la carrera)
MSc. Antonio Alfonso (Diseñador Instruccional)
Lic. Carmen Velásquez (Evaluador Instruccional)

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 3 |
| | |
| Módulo I: Conceptos de sistemas | 5 |
| | |
| Unidad 1: Conceptos de sistemas | 8 |
| Unidad 2: El enfoque de sistemas | 17 |
| | |
| Módulo II: Conceptos de la Ingeniería de Sistemas | 36 |
| | |
| Unidad 3: Conceptos de la Ingeniería de Sistemas | 39 |
| Unidad 4: Identificación de una solución | 48 |
| Unidad 5. Aplicación de la Ingeniería de Sistemas | 51 |

INTRODUCCIÓN

Este material instruccional de apoyo se ha elaborado con la finalidad de orientar al estudiante en el estudio de la asignatura "Introducción a la Ingeniería de Sistemas". Esta asignatura está dirigida a los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Sistemas del ciclo profesional I, quienes aprenderán en la teoría, los conceptos de sistemas, del enfoque de sistemas, y de la ingeniería de sistemas, y en la práctica, a identificar soluciones a problemas específicos, a través del uso de la metodología de la Ingeniería de sistemas, la cual tiene como columna vertebral, el enfoque de sistemas.

Este material de apoyo le va presentando paulatinamente y en orden secuencial, el contenido de la asignatura, el cual como Ud. observó en el Plan de Curso, ha sido diseñado en base a dos componentes: un componente obligatorio y un componente opcional. El componente obligatorio, abarca los temas básicos que debe dominar el estudiante a fin de lograr los objetivos propuestos en la asignatura. El componente opcional, trata ciertas cuestiones sobre los temas básicos, que motivan al estudiante a introducirse en los mismos, o que amplían (complementan) y/o profundizan (suplementan) los aspectos básicos tratados. El componente obligatorio está conformado por el texto producido por la UNA, denominado "Introducción a la Ingeniería de Sistemas", y por un conjunto de lecturas, denominadas "Selección de Lecturas", las cuales se encuentran incluidas dentro de este material de apoyo. El componente opcional, se basa en referencias a determinados tópicos, tratados en diferentes textos del mercado.

El contenido de la asignatura se ha estructurado en módulos y unidades. En orden jerárquico, el módulo es el bloque más extenso que agrupa contenidos relacionados. Estos contenidos están dispuestos en unidades que son bloques más pequeños y cohesivos, cuyo nombre denota por sí mismo, el tópico particular a tratar. Las unidades son las que contienen en sí, los temas a tratar en la asignatura, como definiciones, descripciones, caracterizaciones, distinción de conceptos, ventajas y desventajas en el uso de cierta herramienta, etc. Para toda la asignatura se declara un objetivo general a

lograr por el estudiante, el cual se desglosa en objetivos por módulos, y más refinados por unidades.

Este material de apoyo, tiene una estructura consistente a lo largo de los módulos y unidades que va presentando. En cada módulo, se tratan en secuencia, los siguientes aspectos:

- Introducción al módulo.
- Objetivo del módulo.
- Estructura del módulo, donde se da una visión general de cada unidad integrante del módulo.

En cada unidad, se tratan en secuencia, los siguientes aspectos:

- Introducción a la unidad.
- Objetivo de la unidad.
- Estructura de la unidad, donde se precisan los temas en que se ha dividido el contenido de la misma; y se puntualiza para cada tema, el material para el aprendizaje que debe leer el estudiante, tanto el obligatorio como el opcional.
- Recomendaciones para el estudio del contenido.
- Ejercicios
- Respuesta a los ejercicios.

A partir de la estructura de la unidad, se le van dando indicaciones al estudiante, que lo guían en el estudio del contenido de la misma. Es conveniente, que estas actividades sean realizadas en secuencia, a fin de lograr los objetivos propuestos para cada unidad.

Objetivo general de la asignatura

Identificar con sentido analítico, las soluciones a una situación problemática dada, a través del enfoque de sistemas y las funciones de la ingeniería de sistemas.

MÓDULO I

Conceptos de sistemas

El mundo que hemos creado se ha vuelto aparentemente tan complicado que no sabemos qué hacer al respecto. Cuando no comprendemos tal complejidad, nos sentimos frustrados y nos convertimos en víctimas de lo que no comprendemos. ¿Por qué cada problema que resolvemos nos lleva a una serie nueva de problemas?. Desde la perspectiva habitual de causa y efecto, intentaríamos descubrir dónde estuvo el error y resolverlo. Sin embargo, desde la perspectiva del pensamiento sistémico, comprenderemos las bases de cada situación y descubriremos por qué localizar el error es una tarea inútil. El pensamiento sistémico nos permite ir más allá de los sucesos para ver los patrones de interacción y las estructuras subyacentes que los producen.

El pensamiento sistémico o enfoque de sistemas requiere la conjunción de puntos de vista de diferentes disciplinas para el análisis y solución de problemas que ocurren en diversidad de actividades económicas, sociales y políticas y con escalas de complejidad diferentes. Una disciplina o ramo de la ciencia no desplaza o excluye otras disciplinas, porque una situación bajo estudio, ya sea el problema o la solución, tiene tantas aristas, que las mismas, sólo pueden ser capturadas, ampliadas y profundizadas por especialistas con bases disciplinarias sólidas en matemáticas, ciencias sociales, administración y otras.

La importancia que tiene este módulo en la formación del futuro ingeniero de sistemas es innegable, y se basa en hacer comprender al estudiante, la necesidad que tiene de utilizar el enfoque de sistemas para abordar de manera íntegra, situaciones simples o complejas. Primero, se debe definir la necesidad o el "qué" se quiere resolver. Segundo, se debe definir el "cómo" lo quiere satisfacer. Lo primero, lo veremos en este módulo I. Lo segundo, lo veremos en el módulo II.

Objetivo del módulo

Identificar con sentido analítico, los elementos que describen como un sistema, una situación dada.

Estructura del módulo

A lo largo de este módulo, se introducirá el concepto de sistemas y el enfoque de sistemas. Este módulo se compone de dos unidades. La unidad 1 trata las nociones concernientes a los sistemas y la teoría general de sistemas. La unidad 2 presenta el enfoque de sistemas como una filosofía que busca en medio de la complejidad de una situación, abarcar la "totalidad" de una problemática e identificar el sistema de interés, y resolver el "problema de sistemas" con "soluciones de sistemas", que satisfagan no sólo los objetivos de los subsistemas, sino también la sobre vivencia del sistema global. El enfoque de sistemas concreta el uso de conceptos de sistemas en el planteamiento y resolución de problemas. La ingeniería de sistemas, considera como un componente fundamental al enfoque de sistemas. La metodología a través de la cual se implementa la ingeniería de sistemas, está impregnada del enfoque de sistemas, desde el análisis del sistema actual hasta la solución del sistema propuesto. En esta unidad, estudiaremos las actividades metodológicas correspondientes al análisis del sistema actual.

La unidad 1 comienza definiendo la palabra "*sistemas*" como un conjunto de partes coordinadas y en interacción para alcanzar ciertos objetivos. Por ejemplo, el ser humano es un sistema conformado de partes diferentes que contribuyen de distinta forma a mantener su vida, su reproducción y su acción. Luego, se exponen las *características de los sistemas*; siendo la más resaltante de ellas, la propiedad emergente o sinergia, pues "emerge" del sistema mientras está en acción, funcionando

como un todo, y no por la suma del comportamiento individual de sus partes componentes. Por ejemplo, en nuestro cuerpo humano, con los dos ojos que tenemos, no obtenemos una imagen más grande, producto del agregar a la vista de uno de los ojos, la vista del otro ojo; sino una imagen tridimensional, como resultado de la interacción coordinada de ambos ojos. Esta propiedad sinérgica es recursiva, es decir, dentro del sistema, se encuentran partes que son una totalidad con un comportamiento independiente; estas partes se denominan *subsistemas*. Otro tópico que abordaremos en la unidad 1, es la *clasificación de los sistemas* en función de determinados criterios, como por ejemplo si tienen o no medio ambiente, en cuyo caso, se denominan respectivamente, abiertos o cerrados. No se aspira a abarcar una taxonomía completa de los sistemas, simplemente, a tener una idea de que ellos son de distinta naturaleza y cumplen ciertas condiciones. Por último, se hace un breve paseo, por los intentos habidos, en formular una teoría que establezca los principios válidos para cualquier sistema, independientemente de la naturaleza de sus elementos componentes y relaciones entre ellos.

La unidad 2 presenta el enfoque de sistemas como un punto de vista que tiende hacia la aplicación de una perspectiva globalizadora para el estudio y solución de un problema de sistemas, con el objetivo de lograr soluciones duraderas en el tiempo, a través del conocimiento de la estructura y el funcionamiento del sistema de interés, ya sea el nuevo o el propuesto. La ingeniería de sistemas utiliza el enfoque de sistemas a lo largo de toda su metodología. Esta metodología se elabora a partir del objetivo del sistema propuesto, y consta de las tres etapas generales del análisis del sistema actual, *diseño de sistemas* alternativos, construcción del sistema nuevo, implantación y evaluación del sistema nuevo. En esta unidad, veremos las actividades metodológicas correspondientes a la etapa del análisis del sistema actual.

UNIDAD 1

Conceptos de Sistemas

Generalmente cuando se habla del tema de "sistemas" se plantean problemas semánticos debido a la falta de estandarización de la terminología. A nadie debe sorprender esto, ya que se trata de un tema "híbrido", aplicable universalmente (es decir, a todo tipo de problemas y situaciones). No obstante, una definición generalmente aceptada refiere la palabra "sistema" como un conjunto de elementos relacionados para un propósito. Los elementos de un sistema poseen propiedades que se denominan atributos, los cuales pueden ser de cantidad y calidad. Un atributo de cantidad es por ej. el número de piezas fabricadas en el departamento de producción de una empresa. Un atributo de calidad es por ej. el tipo de imperfecciones que tengan las piezas fabricadas.

Entre los elementos de un sistema existen relaciones, porque de no ser así, entonces se trataría de un montón de elementos. Por ej. determinadas piezas simples o indivisibles, se relacionan o ensamblan de una manera específica para crear una pieza compuesta. La combinación de piezas simples o compuestas, con el propósito de formar por ejemplo, un vehículo, hará que éste se constituya con todas las funcionalidades que conocemos, las cuales no son posibles de cumplir, cuando las piezas están separadas. Esta característica del funcionamiento del sistema como un todo, es lo que se conoce como propiedad emergente o sinergia.

Otro rasgo de los sistemas es la recursividad, lo que significa que un sistema esté a su vez, compuesto de partes que son sistemas. Siguiendo con el ejemplo del sistema automóvil, el motor constituiría a su vez, un sistema. Esto nos conduce al concepto de subsistema y supersistema. Los subsistemas son sistemas más pequeños dentro de sistemas mayores. Por ejemplo, el motor de un vehículo viene a ser un subsistema dentro del sistema automóvil. Otra característica de los sistemas, particularmente de los sistemas complejos (los cuales veremos más adelante), es la estabilidad. Ésta, es muy importante, ya que sin ella, el desmembramiento del sistema podría ocurrir en cualquier momento. Los cambios generalmente se hacen en forma rápida y drástica, ya que la

resistencia al cambio retarda la implantación de las modificaciones al sistema, haciéndolo un proceso largo y hasta conflictivo. El efecto de propagación del cambio en una parte del sistema, hacia otras partes del sistema, es la característica que se denomina efectos secundarios del cambio. Si conocemos el sistema, podremos predecir los efectos de los cambios, y trataríamos de obtener efectos positivos y reducir en lo posible, los negativos. En el mismo orden de ideas, un taller de reparación de vehículos, viene a ser un supersistema para el sistema automóvil.

Hasta ahora, se han revisado a grandes rasgos, lo que se entiende por sistema y las características de los mismos. La lectura del material instruccional para esta unidad continúa con la tipificación de los sistemas. Sin ahondar mucho, se le dará un vistazo a las diferentes clases de sistemas, de acuerdo a ciertos criterios específicos. Por ejemplo, si se quieren diferenciar los sistemas en función de si tienen o no, medio ambiente, entonces se distinguirán dos clases de sistemas: abiertos y cerrados. Los que interactúan con el medio ambiente, se denominan abiertos, y los que no, se denominan cerrados. Otros sistemas se califican como simples o complejos, según el número de relaciones que se establezcan entre sus elementos componentes. Conviene observar, que los sistemas pueden satisfacer más de un criterio. Por ejemplo, los sistemas abiertos, pueden además calificarse de simples o complejos. A su vez, resultará de provecho preguntarse, por ejemplo, si un sistema que es abierto y simple, es además, estable o inestable. Responder esta pregunta nos ayudará posteriormente, a buscar soluciones a situaciones planteadas como sistemas, que por ejemplo, causen el menor impacto en el mismo, y que además, sean duraderas en el tiempo.

El siguiente asunto que se aborda en la lectura, es el de la teoría general de sistemas. Se tocan ligeramente tres cuestiones: El propósito de la teoría general de sistemas, sus antecedentes y prospectiva. En cuanto a sus antecedentes, es sabido que en el pensamiento científico moderno no existe un "sistema universal" que lo abarque todo. Cada disciplina científica enfoca como sistema determinados aspectos de la realidad, representándola mediante modelos. Desde recientes años se comenzó a descubrir que ciertas propiedades de los sistemas no dependen de la naturaleza específica de éstos,

sino que son comunes a sistemas de muy distinta naturaleza. Se evidenció entonces, la posibilidad de que una disciplina utilizara métodos desarrollados por otras. Con la idea de sintetizar e integrar los modelos de sistemas de distintas disciplinas, se han formulado distintas teorías de sistemas. En otras palabras, el propósito de estas teorías es formar el concepto del sistema general. En ese proceso de formación, se han ido acumulando y relacionando conocimientos en un conjunto que se ha venido llamando teoría general de sistemas. En cuanto a la perspectiva de la teoría general de sistemas, se puede decir, que dado que los distintos enfoques individuales de la teoría general de sistemas no están aún bien elaborados y tampoco se ha intentado compararlos entre sí, es imposible predecir si se fundirán o no, por lo que todavía es bastante incipiente creer que la unificación en una sola teoría sea algo cercano.

Objetivo de la unidad

Definir los sistemas, sus características y sus tipos

Estructura de la unidad

Esta unidad se ha agrupado en cuatro temas: 1) Sistema, 2) Características de los sistemas, 3) Clasificación de los sistemas, y 4) Teoría de los sistemas.

El primer tema trata sobre lo que se entiende por la palabra "sistema", y se citan tres referencias que tratan al respecto. La primera, describe con ejemplos lo que es un sistema, pero también asoma una descripción de subsistema, lo cual abordaremos más adelante. La segunda, define con más precisión el término sistema, ilustrándolo con más ejemplos. La tercera, profundiza el concepto de sistema, haciendo notar la diferencia entre lo que se considera sería un sistema, y lo que no constituye un sistema, sino un montón de partes. También se hace una ligera alusión a lo que sería un subsistema, pero como se dijo antes, esto se tratará posteriormente.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|------------|---|----------|---------|---------------------|---------|
| A. Sistema | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 1 | 1.1 | ¿Qué es un sistema? | 15-16 |
| | | 5 | 5.2.1 | Sistemas. | 121-123 |
| | Lectura No 1.1. | | | ¿Qué es un sistema? | |

El segundo tema, atiende lo concerniente a las características de los sistemas. Para ello, se citan seis escritos alusivos al respecto. El primero, considera la propiedad de sinergia de los sistemas, definiéndola y dando un ejemplo al respecto. El segundo, ahonda en la explicación sobre la propiedad de sinergia o emergencia. El tercero, se relaciona con la propiedad de recursividad, la cual nos conduce al concepto de un sistema dentro de otro sistema: subsistema y supersistema. El cuarto y el quinto establecen la relación entre subsistema, sistema y supersistema. El sexto, puntualiza otra característica de algunos sistemas: la estabilidad y además, algunas peculiaridades de los mismos, como lo son el efecto palanca y los efectos secundarios producto de los cambios que se hagan en el sistema.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|------------------------------------|---|----------|---------|------------------------------|---------|
| B. Características de los sistemas | Lectura No 1.2 | | | Sinergia. | |
| | Lectura No 1.3 | | | Emergencia | |
| | Lectura No 1.4 | | | Recursividad | |
| | Lectura no 1.5 | | | Subsistema | |
| | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 5 | 5.2.2 | Subsistemas | 123-124 |
| | Lectura No 1.6 | | | Estabilidad y efecto palanca | |

El tercer tema, versa sobre lo relativo a la clasificación de los sistemas. En este sentido, se señalan tres bibliografías. La primera, define varias clases de sistemas en función de determinados criterios. La segunda, trata dos tipos de sistemas: sistemas simples y complejos. La tercera, expande la explicación de una clase de sistemas, denominado sistemas con realimentación, para los cuales se diferencian los distintos tipos de realimentación.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|----------------------------------|---|----------|------------------------------|--|---------|
| C. Clasificación de los sistemas | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 5 | 5.2.3 | Sistemas abiertos y sistemas cerrados. | 124 |
| | | | 5.2.4 | Sistemas naturales y sistemas creados por el hombre. | 124-126 |
| | | | 5.2.5 | Sistemas estables. | 126 |
| | | | 5.2.7 | Integración e independencia. | 127 |
| | | | 5.2.8 | Sistemas centralizados. | 127-128 |
| | | 5.2.6 | Sistemas con realimentación. | 126-127 | |
| | Lectura No 1.7 | | | Sistemas simples y complejos | |
| Lectura no 1.8 | | | Pensamiento en círculos | | |

El cuarto y último tema, introduce la teoría general de sistemas. Las tres bibliografías que se refieren, tratan respectivamente, sobre el propósito que se busca con la formulación de una teoría general de sistemas, los orígenes de la teoría de sistemas, y hacia donde se dirige la teoría general de sistemas.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|----------------------------------|---|----------|---------|-------------------------------|-------|
| D. La teoría general de sistemas | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 1 | 1.2 | La teoría general de sistemas | 17-18 |
| | | | 1.4 | Antecedentes históricos. | 27-29 |
| | | | | Tendencias actuales. | 29-31 |

Recomendaciones para el estudio del contenido

Una de las actividades que usted realizará frecuentemente durante el desarrollo de este curso es la lectura de los capítulos y secciones del libro "Introducción a la Ingeniería de Sistemas", mismo producido por la UNA, y de la selección de lecturas. Usted debe realizar las lecturas muy cuidadosamente, tomando nota sobre los conceptos y aspectos más relevantes presentados y recapitulando los mismos.

Al finalizar las lecturas, Ud. procederá a realizar los ejercicios propuestos, algunos de los cuales están en el libro UNA, y otros, en este material de apoyo. El propósito al realizar estos ejercicios, es corroborar que ha comprendido el material estudiado. Luego, procederá a comparar su respuesta con la dada a los mismos. En caso de no coincidir, estudie nuevamente el tópico sobre el cual versó el ejercicio. Se le recomienda además, en caso de dudas, consultar a su asesor en el centro local al cual Ud. está adscrito, ya sea presencialmente, vía telefónica o correo electrónico.

Ahora, proceda a realizar los siguientes ejercicios, para afianzar así, los conocimientos adquiridos. Corrobore sus respuestas. Lea las prescripciones.

Ejercicios

Los ejercicios propuestos en el libro UNA para los diferentes temas, con sus correspondientes respuestas y prescripciones, están ubicados en las unidades, secciones y páginas especificadas a continuación:

| TEMA | UNIDAD | SECCIÓN | TÍTULO SECCIÓN | Nro. de los ejercicios | Pgs. de los ejercicios | Pgs. de las respuestas | Pgs. de las prescripciones |
|------------------------------------|--------|---------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| A. Sistema | 5 | --- | Autoevaluación | 3a, 3d | 133 | 135 | --- |
| | | 5.2.1 | Sistemas | 1 | 128 | 131 | --- |
| B. Características de los sistemas | | --- | Autoevaluación | 3e | 133 | 135 | --- |
| | | 5.2.2 | Subsistemas | 2 | 128 | 131 | --- |
| C. Clasificación de los sistemas | | --- | Autoevaluación | 3b,3c,3f, 3g,3h | 133 | 135 | --- |
| | | 5.2.6 | Sistemas con realimentación | 4 | 128 | 131 | --- |

Los ejercicios propuestos en este material de apoyo, se especifican a continuación:

1. La cartera de créditos según cifras de SUDEBAN, se redujo 5,59% entre el cierre del 2002 y septiembre del año 2003. La actividad crediticia se ha afectado debido a la repercusión que ha tenido sobre todos los sectores (créditos comerciales, créditos al consumo, créditos hipotecarios, etc.) la caída del producto interno bruto [PIB] (cantidad de bienes y servicios que genera una economía en un período determinado). Con una contracción del PIB en 8,9% en el año 2002 y con una proyección de caída para el cierre de este año 2003, cercana al 12%, es lógico que se afecte la demanda crediticia.

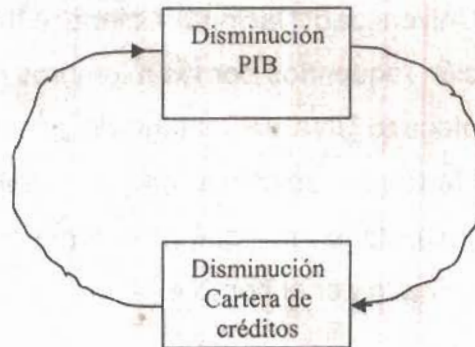
(Texto modificado tomado del original: El Nacional. Martes 18 de Noviembre del 2003. Cuerpo A, pág. 17).

Considerando como componentes del sistema economía nacional a la cartera de créditos y al PIB, represente gráficamente el bucle de realimentación que conecta dichas partes.

2. El sistema bibliotecario de la Universidad Nacional Abierta (UNA) tiene como fin, prestar los servicios de información requeridos por los miembros de la comunidad de la universidad. El Sistema Bibliotecario UNA está integrado por la Biblioteca Central y las Unidades de Recursos Múltiples ubicadas en los Centros Locales y las Unidades de Apoyo. Explique brevemente, por qué el sistema bibliotecario UNA es un sistema natural o un sistema creado por el hombre.
3. Especifique el propósito de la Teoría General de Sistemas.

Respuesta a los ejercicios

1.



La disminución del PIB como bucle de realimentación de refuerzo.

(ver lectura 1.8)

2. El Sistema Bibliotecario UNA es un sistema creado por el hombre, debido a que su objetivo y componentes han sido dispuestos por el hombre para responder a las necesidades del estudiante y del profesor sobre información periódica y actualizada de material bibliográfico.

(ver páginas 124-126 del libro UNA)

3. La teoría general de sistemas busca la formulación de principios válidos para sistemas en general, sea cual fuere la naturaleza de sus elementos componentes y relaciones o fuerzas reinantes en ellos.

(Ver página 16 del libro UNA)

Con la respuesta a los ejercicios propuestos, hemos finalizado esta unidad 1.

UNIDAD 2

EL Enfoque de Sistemas

La presentación del enfoque de sistemas como una perspectiva que da orientación a la metodología que utiliza el ingeniero de sistemas en el análisis y solución de un problema dado, y el estudio de las primeras actividades metodológicas de la ingeniería de sistemas, son los puntos que abordaremos en esta unidad. El enfoque de sistemas no es una tecnología nueva, y puede ser utilizada por otros profesionales dependiendo de su orientación y del caso a resolver. Por otra parte, es preciso aclarar que hablar de ingeniería de sistemas, implica el uso del enfoque de sistemas, y no el uso de la computadora o de técnicas de "sistemas". El enfoque de sistemas se caracteriza por ser *globalizador*, ya que intentará obtener el conocimiento total de la estructura y funcionamiento del sistema de interés. En verdad, la idea de que el enfoque de sistemas es globalizador no es del todo cierta, porque la realidad de la situación objeto de investigación no puede ser abarcada completamente, siempre es posible agregar otros hechos o aspectos. Además, cada investigador tiene un compromiso ideológico con su disciplina y con sus valores y circunstancias personales, lo cual condiciona el objeto de estudio. No siempre se justifica el uso del enfoque de sistemas, ya que aplicado en casos donde el problema se identifica y soluciona rápidamente, sería más costoso, porque mediante un mayor y exhaustivo esfuerzo de análisis, probablemente se llegaría a la misma solución.

Objetivo de la unidad

Identificar los elementos que describen una situación dada como un sistema, visto a través de diferentes disciplinas científicas.

Estructura de la unidad

En esta unidad, entenderemos en qué consiste el enfoque de sistemas y expondremos las primeras actividades metodológicas de la ingeniería de sistemas. Hemos dividido esta unidad en tres temas. En el primer tema estudiaremos al enfoque de sistemas. En el segundo y tercer tema, nos introduciremos en el estudio de la metodología de sistemas.

El primer tema, que hemos denominado el *enfoque de sistemas*, se inicia con una reflexión acerca de la necesidad de utilizar el enfoque sistemas, para resolver un problema de una manera integral. Cuando empezamos a analizar un problema, observamos que comienzan a surgir otros problemas, que generalmente se solapan; porque en realidad, más que a un problema, nos enfrentamos a una situación problemática. Podemos perdernos y no afrontarla de manera adecuada. El esfuerzo debe consistir en tratar de ampliar nuestra capacidad de pensar acerca de sistemas. El enfoque de sistemas nos ayudará a modificar algunos procesos mentales típicos y sugerir algunas modificaciones radicales del razonamiento (lectura 2.1).

El enfoque de sistemas se caracteriza por ser globalizador debido a dos razones. En primer lugar, intenta incorporar la totalidad de los aspectos de una situación objeto de estudio, por lo que, utiliza los puntos de vista de diversas disciplinas. Esto quiere decir, que un ingeniero de sistemas nunca podrá trabajar solo, sino que requerirá un grupo interdisciplinario ("traslape" de enfoques disciplinarios) de trabajo. En segundo lugar, como pone el énfasis en el aspecto global (y no atómico) de la situación objeto de estudio, requiere interrelacionar todos los aspectos extraídos de dicha situación,

expresándolo como un sistema, en términos de objetivos del sistema, su ambiente externo, sus necesidades, restricciones y recursos, con que se cuenta para el análisis y solución del problema (lectura 2.2).

La situación objeto de estudio puede ser, tanto aquella donde esté inmersa una problemática o también, la solución a la problemática. Con el concepto de totalidad no se pretende ingenuamente conocer toda la realidad de cierta situación (y por ende, del sistema de interés), sino entenderla como un todo que posee una estructura propia, que se va creando; y que además, está condicionada por el investigador de la misma (libro UNA, secciones 2.2 y 2.3). El enfoque de sistemas permea todas las etapas de la metodología que utiliza la ingeniería de sistemas. La metodología que guía la generación de una solución, se elabora en torno al objetivo del sistema propuesto o del proyecto que lo estudiará. Es de hacer notar, que cualquier metodología, aunque sea de carácter disciplinario, se especifica según el objetivo a lograr. La metodología estará conformada por un conjunto de actividades las cuales varían según los requerimientos del sistema en estudio (lectura 2.2). El ingeniero de sistemas utiliza dentro de la metodología de la ingeniería de sistemas, un conjunto de técnicas disciplinarias clásicas y también técnicas de "sistemas" provenientes de disciplinas recientes (lectura 2.3, Enfoque vs. Técnicas). Con la aplicación del enfoque de sistemas se obtiene un mayor rendimiento de recursos (eficiencia) y los resultados obtenidos se aproximan a los objetivos planteados (efectividad), (lectura 2.3, Resultados del enfoque de sistemas y Perspectivas sobre otros enfoques).

Finalmente, queremos puntualizar algunos aspectos que hemos visto en este tema, con el fin de concretar los conocimientos obtenidos, y que nos permitirán adentrarnos más fácilmente en los subsiguientes temas. El primer aspecto, es que debemos distinguir claramente, los conceptos de enfoque de sistemas, metodología de la ingeniería de sistemas, y técnicas de sistemas. El segundo aspecto, es que el enfoque de sistemas se usa a lo largo de toda la metodología de la ingeniería de sistemas, por tanto, acompañará al analista de sistemas y a su equipo interdisciplinario desde la concepción del sistema actual hasta la construcción y evaluación del sistema nuevo. El tercer

aspecto, es que el ingeniero de sistemas utiliza un conjunto de técnicas dentro de la metodología de la ingeniería de sistemas.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|---------------------------|---|----------|---------|--|--------|
| A. El enfoque de sistemas | Lectura 2.1 | | | Razonamiento | |
| | Lectura 2.2 | | | Características del enfoque de sistemas | |
| | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 2 | 2.2 | El concepto de totalidad. | 52-54. |
| | | | 2.3 | Relaciones entre el sujeto y el objeto de la investigación científica. | 54-55. |
| | Lectura 2.3 | | | Enfoque vs. técnicas | |
| | | | | Resultados del enfoque de sistemas | |
| | | | | Perspectivas sobre otros enfoques | |

El segundo tema, lo hemos denominado *Formación del equipo interdisciplinario de la ingeniería de sistemas, definición del ambiente y objetivos del sistema propuesto*. Como vimos en el tema anterior, un verdadero enfoque de sistemas, se distingue por la participación de profesionales de distintas disciplinas. Esta característica del enfoque de sistemas, da lugar a una de las primeras actividades metodológicas de la ingeniería de sistemas: 1) La formación del equipo interdisciplinario. Aquí, revisaremos los conocimientos que manejan varias disciplinas, y la competencia que podrían tener en el estudio de un problema dado, lo cual nos va a permitir definir qué profesionales conformarán el equipo de sistemas. También, vimos en el tema anterior, que otra *característica del enfoque de sistemas, es que trata de ver el todo y no las partes*. Esto da lugar, a que se realicen una serie de actividades metodológicas, cuyos resultados permitirán visualizar el contexto completo del sistema de interés: 2) la definición del ambiente dentro del cual se desarrollará el sistema, 3) el establecimiento de alcances y objetivos, así como la jerarquización de los mismos, 4) la definición de los recursos del sistema y restricciones generales; y finalmente, 5) la integración global de los puntos anteriores (lectura 2.4 y lectura 2.5). En particular, veremos aquí, de una manera práctica, a través de ejercicios, las actividades que tienen que ver con el

establecimiento del ambiente donde se desenvuelve el sistema de interés actual (y eventualmente, el sistema propuesto), y los objetivos del sistema propuesto. Es de hacer notar, que en esta serie de actividades iniciales, no se menciona la determinación de la problemática. Sin embargo, es necesario que de una manera explícita, aquella se describa, a fin de dilucidar el sistema objeto de estudio.

Comenzaremos este tema, con la formación del equipo interdisciplinario de trabajo. Primero, es necesario aclarar, cómo surge esta necesidad. En la actualidad, se llama "analista", a un profesional que utilice alguna metodología y técnicas "de sistemas", para solucionar un problema. Por ej. se denomina "analista de sistemas", a aquél, que utilice una metodología de desarrollo de sistemas de información y técnicas asociadas. De esta forma, surge la confusión entre el análisis sistemático o científico de "un analista de sistemas" y el análisis o enfoque de sistemas de un verdadero ingeniero de sistemas. El primero puede ser de tipo disciplinario, pero no el segundo. Un análisis que utiliza el método científico en general no es sinónimo de un verdadero análisis de sistemas. Un requisito fundamental para iniciar un análisis de sistemas es la formación de un grupo interdisciplinario de trabajo.

Para implementar la actividad de la formación de un grupo interdisciplinario de trabajo, es necesario tener una noción de los conocimientos que manejan varias disciplinas (Libro UNA, capítulo 7 y capítulo 1, sección 1.3). Una de las tareas a la cual se abocará el grupo interdisciplinario, es establecer el medio ambiente del sistema objeto en función de los objetivos del sistema y/o proyecto de investigación. Esta no es una labor trivial, ya que *no se resuelve en una secuencia de pasos*. Hay que iterar, e ir refinando los datos que van revelando por ej. el impacto de la problemática, los recursos y restricciones, etc. Todos ellos, van delineando hasta donde es posible resolver un problema, y por ende, los objetivos que se plantearán para el sistema nuevo o proyecto que lo aborde (libro UNA, capítulo 2, sección 2.1).

Para finalizar, quisiéramos acordar una convención sobre la estructura general de la metodología de la ingeniería de sistemas, con la cual trataremos en este material de apoyo. Como hemos podido observar, tanto en el libro UNA, como en la Selección de Lecturas, la agrupación de actividades, se hace de diferentes maneras, lo cual puede crear cierta confusión. En diversas literaturas, se utiliza a menudo, el concepto de etapas y fases para separar grupos de actividades afines. Por ello, para minimizar la divagación y flexibilizar la ubicación de una actividad dentro del marco de la metodología de la ingeniería de sistemas, hemos decidido utilizar en este material de apoyo, la jerarquía de etapas y actividades, y obviar, la agrupación de actividades por fases, porque es el punto intermedio, donde hay más variación. Por otra parte y en general, una metodología diseñada para resolver cualquier problema, independiente de su naturaleza, consta de las siguientes etapas: análisis del problema, diseño de soluciones, construcción de una solución, implantación y evaluación de una solución. Cuando se trata de problemas de sistemas, la terminología normalmente empleada para esas etapas es la siguiente: *análisis del sistema actual, diseño de sistemas alternativos, construcción del sistema nuevo, implantación y evaluación del sistema nuevo*. Esta será la convención que usaremos en adelante. Debemos tener siempre en mente, que las actividades metodológicas serán establecidas según el objetivo del sistema nuevo o del proyecto que desarrolla el sistema nuevo.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|--|--|----------|--|---|---------|
| B. Formación del equipo interdisciplinario de la ingeniería de sistemas, definición del ambiente y objetivos del sistema propuesto | Lectura 2.4 | | | Etapas desconocidas | |
| | Lectura 2.5 | | | Razonamiento (continuación) | |
| | Libro UNA "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 7 | 7.1 | Carácter interdisciplinario de la ingeniería de sistemas. | 163 |
| | | | 7.1.1 | Influencia del enfoque de sistemas. | 163-164 |
| | | | 7.1.2 | Influencia del éxito alcanzado por la ingeniería de sistemas. | 164-165 |
| 7.1.3 | | | Influencia de la variedad de técnicas que utiliza la ingeniería de sistemas. | 165-166 | |

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|---|--|---------------------------------|--------------------|---|---------|
| B. Formación del equipo interdisciplinario de la ingeniería de sistemas, definición del ambiente y objetivos del sistema propuesto (continuación) | Libro UNA "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 7 | 7.2 | Relaciones específicas entre la ingeniería de sistemas y algunas disciplinas. | 166 |
| | | | 7.2.1 | Teoría general de los sistemas. | 166-167 |
| | | | 7.2.2 | La cibernética. | 167-168 |
| | | | 7.2.3 | La computación. | 168-169 |
| | | | 7.2.4 | Investigación de operaciones. | 169-170 |
| | | | 7.2.5 | Administración. | 170 |
| | | | 7.2.6 | Planificación. | 170-171 |
| | | | 7.2.7 | Sociología. | 171-172 |
| | | | 7.2.8 | Economía. | 172-173 |
| | | 7.2.9 | Otras disciplinas. | 173-174 | |
| | | 1 | 1.3 | La realidad sistémica para diferentes disciplinas científicas. | 18-26 |
| 2 | 2.1 | El sistema y el medio ambiente. | 45-51 | | |

El tercer tema lo hemos denominado *representación conceptual del sistema*, en correspondencia con el nombre de la actividad del mismo nombre, que se realiza dentro de la primera etapa metodológica o Análisis del sistema actual. Esta actividad, es también consecuencia de la segunda característica holística del enfoque de sistemas: ver el todo y no las partes.

Existen muchas técnicas (matemáticas, físicas, analógicas, digitales, etc.) para *representar un sistema*. No se pretende, utilizar todas las técnicas disponibles, sino aquellas que prácticamente pudieran aplicarse a cualquier realidad. En el libro UNA, capítulo 4, se utiliza el término metodología, para designar una serie de tareas que conlleven a representar conceptualmente un sistema. Más apropiado sería utilizar el término de técnica. Brevemente, podemos decir, que una técnica es la habilidad que tiene una persona para utilizar una herramienta mediante una serie de pasos. Es conveniente, que el alumno investigue, la diferencia entre método, herramienta y técnica; ya que a veces, se hace un uso indiscriminado de los mismos.

En la lectura 2.6, se amplía lo explicado en el texto UNA, sobre la representación conceptual de un sistema, y se distingue entre representación basada en un concepto estático y representación basada en un concepto dinámico. Un concepto estático es la estructura orgánica o "esqueleto" de un sistema. Por ej., si enfocamos las áreas funcionales de una empresa como sistema, y queremos representarlo de una manera estática, podríamos utilizar por ej. el organigrama de la empresa. Un concepto dinámico es el flujo de recursos, ya sean físicos (equipos, materiales, personal, y dinero) o de información que ocurren alrededor de la estructura orgánica. Cuando más de un flujo de información están relacionados, se le denomina procedimiento. En el caso de una empresa, un procedimiento puede involucrar más de un área funcional. El concepto dinámico, o de funcionamiento, debe estar sujeto a la estructura orgánica del sistema que representa; por ejemplo, una empresa de tipo financiero no puede pensar en implantar procedimientos para la elaboración de un producto ingenieril, sin un cambio estructural drástico. En los ejercicios propuestos, se verán los casos típicos de representación estática de una empresa y representación dinámica de un procedimiento de una empresa. Además, se verá otro caso representativo del tipo de problemas con el cual se podría enfrentar un ingeniero de sistemas.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|--|---|----------|---------|---|---------|
| C. Representación conceptual del sistema | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 4. | 4.1 | Metodología general para la representación conceptual de un sistema. | 87-97 |
| | | | 4.2 | Aspectos metodológicos para la representación conceptual del sistema. | 97-98 |
| | | | 4.2.1 | Objetivos del sistema. | 98-100 |
| | | | 4.2.2 | Medio ambiente del sistema. | 100-102 |
| | | | 4.2.3 | Estructura orgánica del sistema. | 102-103 |
| | Lectura 2.6 | | | La conceptualización de un sistema | |

Recomendaciones para el estudio del contenido

Una de las actividades que usted realizará frecuentemente durante el desarrollo de este curso es la lectura de los capítulos y secciones del libro "Introducción a la Ingeniería de Sistemas", el cual es producido por la UNA, y de la selección de lecturas. Usted debe realizar las lecturas muy cuidadosamente, tomando nota sobre los conceptos y aspectos más relevantes presentados y recapitulando los mismos. Para recapitular esta unidad, queremos destacar, que hemos cubierto la primera etapa metodológica "Análisis del sistema actual". Algunas actividades se han revisado someramente, y otras, se han estudiado con mayor profundidad. No obstante, en las unidades subsiguientes abordaremos de nuevo tales actividades.

Al finalizar las lecturas, Ud. procederá a realizar los ejercicios propuestos, algunos de los cuales están en el libro UNA, y otros, en este material de apoyo. El propósito al realizar estos ejercicios, es corroborar que ha comprendido el material estudiado. Luego, procederá a comparar su respuesta con la dada a los mismos. En caso de no coincidir, estudie nuevamente el tópico sobre el cual versó el ejercicio. Se le recomienda además, en caso de dudas, consultar a su asesor en el centro local al cual Ud. está adscrito, ya sea presencialmente, vía telefónica o correo electrónico.

Ahora, proceda a realizar los ejercicios para afianzar así, los conocimientos adquiridos. Corrobore sus respuestas. *Vea las prescripciones.*

Ejercicios

Los ejercicios propuestos para el tema B en el libro UNA, con sus correspondientes respuestas y prescripciones, están ubicados en las unidades, secciones y páginas especificadas a continuación:

| TEMA | UNIDAD | SECCIÓN | TÍTULO SECCIÓN | Nro. de los ejercicios | Pgs. de los ejercicios | Pgs. de las respuestas | Pgs. de las prescripciones |
|--|--------|---------|--|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| B. Formación del equipo interdisciplinario de la ingeniería de sistemas, definición del ambiente y objetivos del sistema propuesto | 7 | --- | Autoevaluación | 1,2,3 | 175 | 177 | |
| | 1 | 1.3 | La realidad sistémica para diferentes disciplinas científicas. | 1 | 26 | 33 | |
| | | --- | Autoevaluación | 1,2,3,4 | 35-38 | 39 | 40 |
| | 2 | 2.1 | El sistema y el medio ambiente. | 1 | 51 | 57-58 | |
| | | --- | Autoevaluación | 1,2,3 | 59-61 | 63 | 64 |
| | 5 | --- | Ejercicios propuestos | 3 | 128 | 131 | |

Los ejercicios propuestos para el tema C en el libro UNA, con sus correspondientes respuestas y prescripciones, están ubicados en las unidades, secciones y páginas especificadas a continuación:

| TEMA | UNIDAD | SECCIÓN | TÍTULO SECCIÓN | Nro. de los ejercicios | Pgs. de los ejercicios | Pgs. de las respuestas | Pgs. de las prescripciones |
|--|--------|---------|---|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| C. Representación conceptual del sistema | 4. | 4.1 | Metodología general para la representación conceptual de un sistema. | 1,2 | 94. 97 | 105-106 | |
| | | 4.2 | Aspectos metodológicos para la representación conceptual del sistema. | 3 | 102 | 106 | |
| | | --- | Autoevaluación | 1,2 | 107-109 | 111 | 112 |

Los ejercicios propuestos en este material de apoyo se presentan a continuación:

1. La empresa venezolana Lineacero se dedica a la comercialización de productos derivados del acero, como tubos, válvulas, y conexiones. Entre sus proveedores se encuentran: la fábrica Conduven, quien le provee tuberías; y la distribuidora Tuvalca, quien le suministra válvulas y conexiones. Entre sus clientes están: la distribuidora Tubemaca, a quien le entrega tuberías y conexiones; y la empresa Clison, a quien le despacha tuberías y válvulas, para consumo propio.

La empresa Lineacero está liderizada por un presidente, y una junta directiva, conformada por los representantes de cada área funcional: mercadotecnia, finanzas, recursos humanos y servicios de información. Las áreas y unidades organizacionales, mantienen una relación superior-subordinado y están conectadas por flujos de recursos físicos (tangibles) y de información (intangibles). Las áreas mantienen informada a la presidencia y junta directiva de sus gestiones. El área de mercadotecnia tiene como función principal, entregar los productos a los clientes. Consta entre otras, de dos unidades organizacionales: Almacén, donde se reciben los productos de los proveedores y se conservan hasta su venta; y Compras, donde se adquieren equipos y materiales de empresas del ramo. A diferencia de los productos para la venta, estos equipos y materiales no se almacenan, sino que se distribuyen a las diferentes áreas funcionales, pues deben estar disponibles continuamente, y comprenden mobiliario, computadoras, materiales de oficina, materiales de limpieza, etc. El área de recursos humanos se encarga de gestionar (seleccionar, adiestrar, liquidar, etc.) el recurso humano que proviene de la comunidad, y asignarlo a las diferentes áreas funcionales. El área de finanzas se encarga de controlar el flujo de dinero, el cual se obtiene primordialmente de los dueños, como capital de inversión, de los clientes de la compañía por concepto de ventas, y de las instituciones financieras, en forma de préstamos y pago de intereses. El área de servicios de información se encarga de procesar los datos y entregar información referente a las transacciones comerciales de compra y venta, manejo de recursos humanos, estados financieros, etc.

Con base en la situación descrita, y considerando la empresa Lineacero como un sistema organizacional, especifique:

- a) El objetivo del sistema.
- b) El medio ambiente del sistema, y su interacción con el sistema total (y no con sus componentes), por medio de una representación dinámica (flujo de recursos físicos).
- c) Los componentes del sistema, por medio de una representación estática (organigrama de la empresa).
- d) La interacción entre componentes del sistema, por medio de una representación dinámica (flujo de recursos físicos y flujo de información).

(Nota: Refleje sólo las interacciones que ud. considere más importantes).

2. La empresa Lineacero, descrita en el punto anterior, ha establecido un procedimiento de tramitación de viajes a diferentes regiones en el país, para los empleados que deben cumplir actividades de mercadeo, compras, ventas, etc. El procedimiento tiene como propósito facilitar el viaje del empleado, así como controlar los gastos incurridos en el mismo. Cuando un empleado requiere viajar, le hace una pre-solicitud a su jefe de área, indicándole motivo(s), lugar(es) y fechas de inicio y finalización del viaje. El jefe de cada área, tiene un presupuesto para viajes, asignado por el área de finanzas, sobre el cual, tiene autonomía hasta un monto límite superior dado. Con el consentimiento del jefe de área, el empleado recurre a la agencia Viajefeliz, la cual tiene un contrato con Lineacero, para manifestarle sus requerimientos de boletos aéreos, taxis y hoteles. La agencia le envía al empleado diferentes opciones que se adapten a sus requerimientos, así como a las reglas establecidas por Lineacero. Una vez que el empleado, escoge las opciones que le convengan, hace una solicitud formal a su jefe de área, quien la aprueba o rechaza. En caso que sea aprobada, el empleado que va a viajar, envía la solicitud aprobada a la agencia de viajes quien se encarga de realizar cualquier reservación que sea necesaria. Luego, Viajefeliz le entrega al empleado los boletos aéreos y/o información de las reservaciones realizadas, obteniendo una copia del empleado como recibido. Una vez que el

empleado finaliza el viaje, la agencia envía las facturas de boletos aéreos, hoteles y taxis al área de Finanzas, quien compara las facturas recibidas con sus registros. Si no hay contratiempos, el área de Finanzas, cancela dichas facturas.

(Nota: Suponga que el monto del viaje está dentro del presupuesto autorizado a los jefes de áreas).

Considerando el procedimiento de preparación, aprobación y pago del viaje de un empleado de Lineacero, como el sistema de viajes, especifique:

- a) El objetivo del sistema.
- b) El medio ambiente del sistema.
- c) Los componentes del sistema, la interacción entre ellos y con el medio ambiente, mediante una representación dinámica (conjunto de flujos de información).

3. El aumento progresivo de la población ha originado en la mayoría de los países un incremento en el volumen de producción de residuos sólidos urbanos. Estos residuos se disponen mayoritariamente en vertederos sanitarios, teniendo una serie de tratamientos en su fase de abandono, para que no causen importantes daños al ambiente. Es sabido, que desde el punto de vista de la salud mental, la presencia de vertederos estigmatizan un espacio y sus habitantes, esto causa problemas asociados a la autoestima social, lo que a su vez potencia el desarrollo de la delincuencia, problemas de adaptación social y falta de aspiraciones personales y comunitarias. Desde el punto de vista de salud física, el vertedero constituye un foco de infecciones que se generan tanto al interior como al exterior del vertedero, entre ellas y peligros asociados tenemos: 1) partículas del vertedero son transportadas por el viento (erosión eólica), afectando la salud de las personas, y la infraestructura de la ciudad; 2) los gases tóxicos que emanan del relleno (biogases) tales como el metano o los oligogases, causan malestar a la población con sus olores, y peor aún, están asociados a la producción de ciertos cánceres; además, pueden provocar graves catástrofes debido a explosiones e incendios; 3) contaminación hacia la población por vectores como roedores u otros; 4) las aguas se contaminan, ya que

muchos vertederos tienen contacto directo con ríos, lagos, etc.; 5) el deslizamiento del terreno del relleno, puede provocar emergencia en la comunidad.

En vista de lo anterior, es necesario, un plan de rehabilitación de estos vertederos a partir de una metodología para alcanzar los mayores beneficios en los aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales, mediante la investigación y desarrollo de una nueva aplicación tecnológica, que integre disciplinas como: la ingeniería geotécnica, ingeniería agronómica, ingeniería forestal, ingeniería medioambiental, y las ciencias sociales (en este caso, sociología y economía).

La metodología que se empleará en el proyecto, está basada principalmente en un trabajo experimental consistente en ensayos de laboratorio y de terrenos, mas trabajos en prototipos a escala real, con el propósito de validar en terreno, los resultados alcanzados preliminarmente.

(Texto modificado del original: <http://icc.ucv.cl/fondef/fondefd00ill0l/impactos.htm>)

La problemática del vertedero abandonado y su solución, se abordará desde la perspectiva sistémica. El sistema de interés lo denominaremos "Rehabilitación de vertedero sanitario". Sus subsistemas componentes, son los diferentes estudios que realizará el equipo interdisciplinario, para analizar dicha problemática.

Con el propósito, de distinguir la participación que tendría cada profesional, miembro del equipo de investigación y desarrollo, en la referida problemática, se describen brevemente y a continuación, algunas de las competencias de cada profesional. La referencia al sociólogo y al economista se encuentra en el libro texto UNA.

INGENIERO GEOTECNICO

1. Aplica los principios de la ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre. (Texto modificado del original: <http://www.rae.es/>)
2. Realiza actividades complementarias al Ingeniero civil en aspectos relacionados con las propiedades y comportamiento de los materiales de la corteza terrestre, con la capacidad soportante de masas de suelos y rocas donde se emplazan las obras de infraestructura. En obras propiamente de tierra, como presas de contención de agua o presas de residuos mineros (relaves), el ingeniero geotécnico investiga las propiedades y las condiciones de estabilidad de tales obras frente a condiciones normales y sísmicas.
(Texto modificado del original: http://www.educarchile.cl/modulos/psu/psu_orientacion_detalle.asp?id_noticia=10751&esc=estudiante)

INGENIERO AGRONOMO

1. Aplica conjunto de conocimientos al cultivo de la tierra, derivados de las ciencias exactas, físicas y económicas. (Texto modificado del original: <http://www.rae.es/>)
2. Aplica principios de ingeniería a la producción, almacenamiento y procesado de alimentos, la gestión de residuos agrícolas, irrigación y drenaje, etc. Requiere conocimientos tales como la biología, gestión del suelo, etc. Relacionada con la ingeniería agrónoma, se encuentra la biotecnología en procesos basados en microbios y enzimas. Ejemplos industriales son el procesado de alimentos y la producción de vitaminas, hormonas y antibióticos. Una rama de la ingeniería agrónoma es la ingeniería forestal. (Texto modificado del original: <http://det.bi.ehu.es/asignaturas/escuela/profing.html>)

INGENIERO FORESTAL

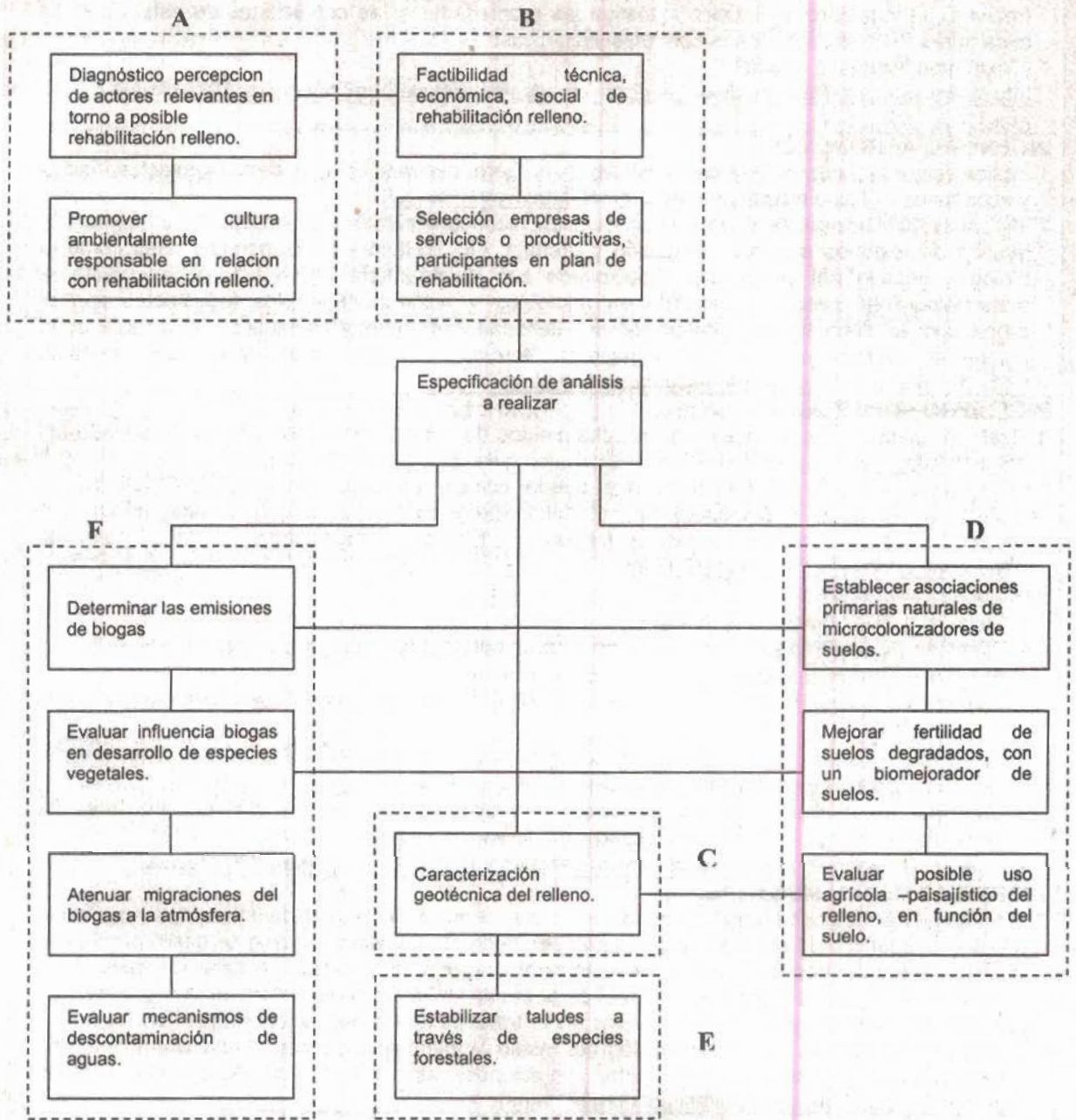
1. Trata lo relativo a los bosques y aprovechamientos de leñas, pastos, etc. (Texto modificado del original: <http://www.rae.es/>)
2. Considera las diversas funciones que puede cumplir el recurso forestal (productivas, de protección ambiental y de recreación), en tal forma y combinación, que se asegure un uso racional e integral del mismo. (Texto modificado del original: <http://www.udec.cl/carreras/iforestal.htm>)
3. Algunas actividades que realizan son:
 - Elaborar y dirigir planes de forestación.
 - Planificar y ejecutar proyectos de manejo de áreas protegidas.
 - Asesorar sobre el cultivo de árboles en zonas urbanas.
 - Planificar y ejecutar proyectos de manejo de la fauna silvestre y de conservación de la biodiversidad.
 - Desarrollar técnicas de protección de los recursos forestales contra enfermedades, plagas, incendios y acciones antrópicas negativas.
 - Participar en la planificación y ejecución de proyectos relacionados con las industrias de primera transformación (aserrado, secado, preservación y carbonización).
 - Realizar tasaciones y peritajes de tierras, bosques y productos forestales maderables.

INGENIERO MEDIOAMBIENTAL.

1. La ingeniería medioambiental se puede encontrar como especialidad dentro de las ingenierías mecánica, química, de obra civil y agronomía. Evidentemente, en cada caso se tratan problemas distintos. Así, mientras el ingeniero medioambiental agrónomo se ocupa de aspectos tales como la calidad de aguas de riego y el control de pesticidas, el químico se centra en la prevención de escapes en fábricas, y el de obras civiles en el tratamiento de residuos, el ingeniero mecánico estudia los problemas de contaminación del medio ambiente en general, impacto ambiental de construcciones y obras civiles, ruido, vibraciones, etc. (Texto modificado del original: <http://det.bi.ehu.es/asignaturas/escuela/profing.html>)

A continuación se hace una representación esquemática del sistema mencionado, delimitando grupo de subsistemas, dentro de cada cuadro con línea punteada.

Sistema de rehabilitación de vertedero sanitario

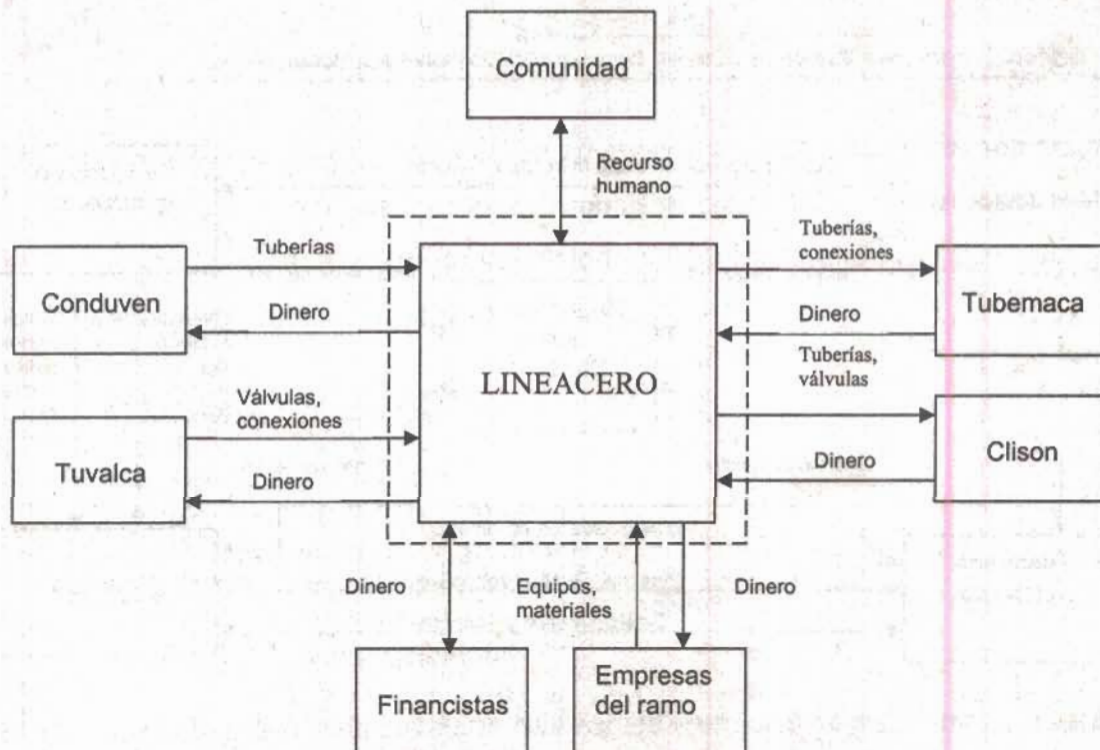


Con base en la situación presentada:

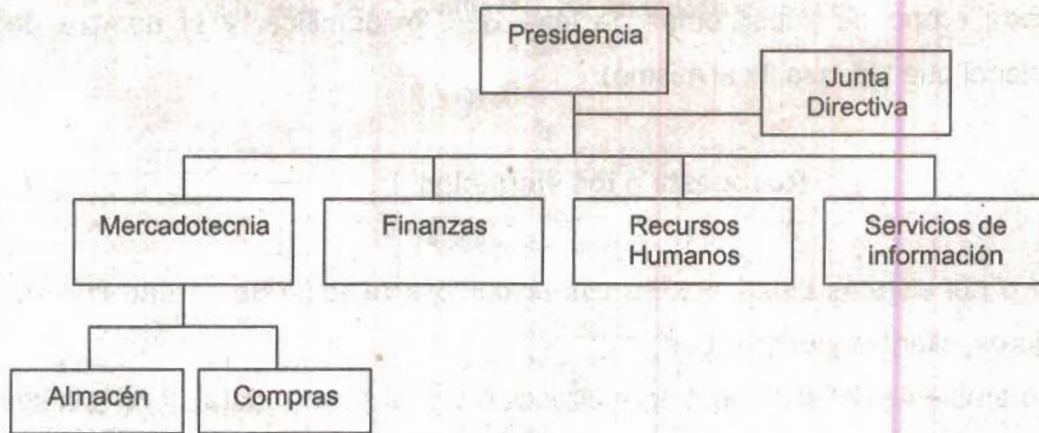
- a) Identifique al profesional, que de acuerdo a sus competencias, sea el que más se vincule con cada grupo de subsistemas. (Nota: En la respuesta, sólo escriba, por cada grupo de subsistemas, la letra que lo identifica, y el nombre del profesional que Ud. asocia al mismo).

Respuesta a los ejercicios

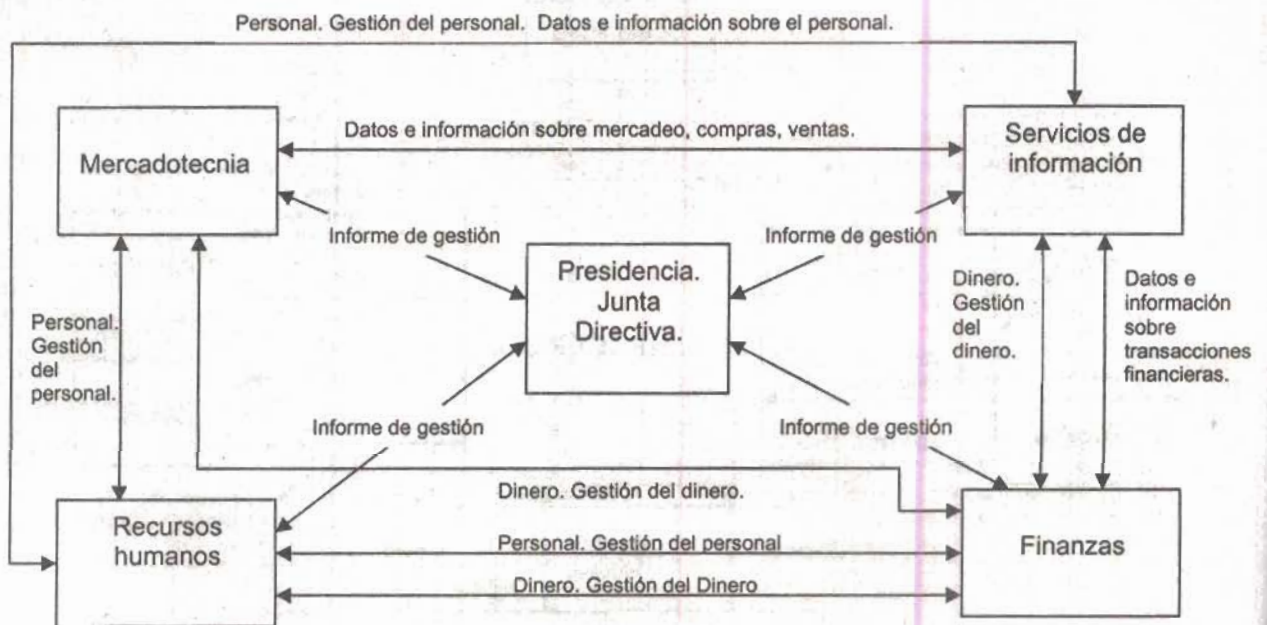
1. a) El objetivo del sistema Lineacero, es establecer una relación de calidad con sus proveedores, clientes y empleados.
- b) El medio ambiente del sistema, y su interacción con el sistema total (y no con sus componentes), por medio de una representación dinámica (flujo de recursos físicos).



- c) Los componentes del sistema, por medio de una representación estática (organigrama de la empresa).



- d) La interacción entre componentes del sistema, por medio de una representación dinámica (flujo de recursos físicos y flujo de información).

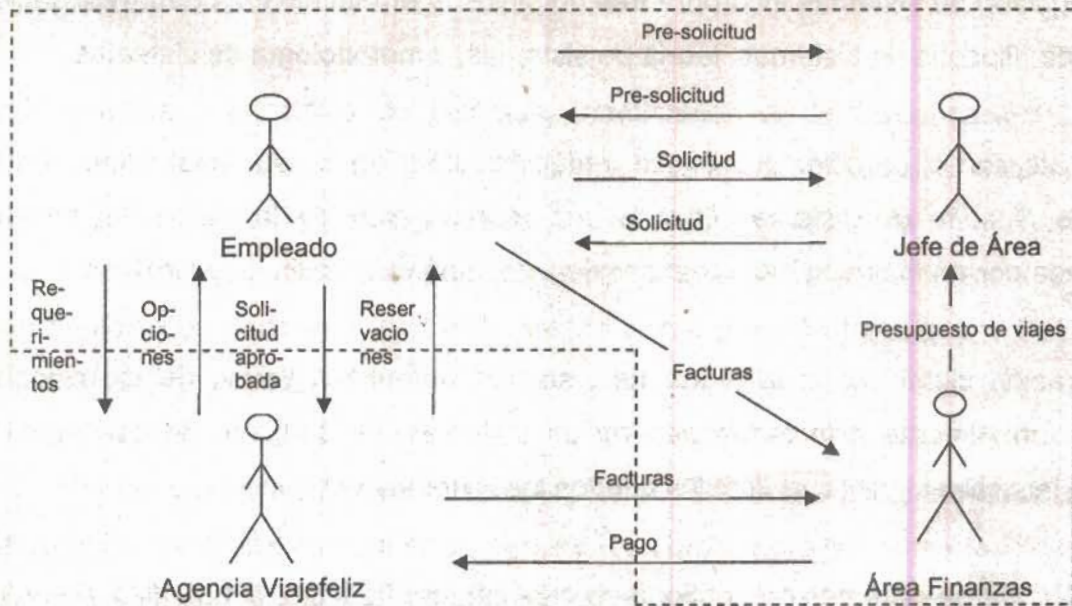


2. a) El objetivo del sistema de viajes es facilitar el viaje de un empleado, así como controlar los gastos incurridos en el mismo.

b) El medio ambiente del sistema.

La agencia de viajes Viajefeliz.

c) Los componentes del sistema, su interacción entre ellos y con el medio ambiente, mediante una representación dinámica (conjunto de flujos de información).



3. a) Identifique al profesional, que de acuerdo a sus competencias, sea el que más se vincule con cada grupo de subsistemas. (Nota: En la respuesta, sólo escriba, por cada grupo de subsistemas, la letra que lo identifica, y el nombre del profesional que Ud. asocia al mismo).

| <u>Subsistema</u> | <u>Profesional</u> |
|-------------------|--------------------------|
| A: | Sociólogo |
| B: | Economista |
| C: | Ingeniero Geotécnico |
| D: | Ingeniero Agrónomo |
| E: | Ingeniero Forestal |
| F: | Ingeniero Medioambiental |

(En caso de haber tenido dificultad en realizar los ejercicios de esta unidad, repase las lecturas indicadas y/o consulte bibliografía adicional)

Con la respuesta a los ejercicios propuestos, hemos finalizado esta unidad 2.

MÓDULO II

Conceptos de la ingeniería de sistemas

La investigación de sistemas incorpora tres dominios interrelacionados de investigación disciplinada: filosofía de sistemas, teoría de sistemas, y metodología de sistemas.

En contraste con el paradigma analítico, reduccionista y de causa lineal de la ciencia clásica, la *filosofía de sistemas* lleva a una reorientación de la visión del mundo, manifestada por un modo de pensar expansionista, dinámico no lineal y sintético.

La exploración científica de la teoría de sistemas permitió a varias de las ciencias descubrir formalmente a la *teoría general de sistemas*, un conjunto de conceptos y principios interrelacionados, aplicables a todos los sistemas.

La *metodología de sistemas* proporciona un conjunto de modelos, estrategias, métodos y herramientas; así se instrumentan la filosofía y la teoría de sistemas en análisis, diseño, desarrollo, solución de problemas de sistemas complejos y su manejo.

La *Ingeniería de Sistemas*, por su parte, está relacionada con el diseño de sistemas cerrados hombre-máquina y sistemas socio-técnicos de gran escala. La ingeniería de Sistemas puede ser vista como un sistema de métodos y herramientas, cuya actividad específica es la solución de problemas. Al hablar de herramientas se incluyen en éstas al lenguaje, a las matemáticas y a las gráficas por las cuales la Ingeniería de Sistemas se comunica. El contenido de la Ingeniería de Sistemas incluye una variedad de algoritmos y conceptos que posibilitan varias actividades.

El primer trabajo importante en Ingeniería de Sistemas fue publicado por Hall en 1962. El presentó una morfología comprensiva, tridimensional para la Ingeniería de Sistemas. En la década de los setentas Sage sugirió un cambio en la dirección en Ingeniería de Sistemas. El usó el término "System" para referirse a la aplicación de la ciencia de los

sistemas y a las metodologías asociadas con esa ciencia para la solución de problemas.

La palabra "engineering" significó no sólo el dominio y manipulación de datos físicos, sino también consideraciones de comportamiento social, como parte inherente del proceso de ingeniería de diseño.

Durante los sesentas y principios de setentas, practicantes de la Investigación de Operaciones intentaron transferir su enfoque al contexto de sistemas sociales. Esto fue un desastre. Fue el período cuando emergió la "social engineering" como un enfoque dirigido a los problemas sociales. Un reconocimiento de la falla de estos intentos, ha llevado a un cambio de dirección, mejor manifestada por la posición tomada por Sage de identificar metodologías sociales.

En los años setentas y principios de los ochentas, fue generalmente aceptado que por su naturaleza, a los sistemas humanos/sociales se les considerara sistemas "suaves" en contraste con los sistemas "duros" de los problemas en ingeniería de sistemas. En general se puede decir que el pensamiento de sistemas duros y sus enfoques no han sido usados en contextos de sistemas de actividad humana.

No obstante, el enfoque de la Ingeniería de Sistemas puede proveer de conceptos básicos, herramientas de análisis y métodos de ingeniería a usarse en el análisis y diseño de un sistema tecnológicamente complejo.

(Fuente: <http://usuarios.lycos.es/javica/planeación/marcosistemas.htm>)

En el módulo anterior, comentamos dos de los tres dominios interrelacionados de investigación disciplinada: la filosofía de sistemas y algunos esbozos de la teoría de sistemas. En este módulo, veremos los conceptos asociados a la metodología de sistemas e ingeniería de sistemas y un caso práctico.

Objetivo del módulo

Describir con sentido analítico, las funciones de la ingeniería de sistemas

Estructura del módulo

A lo largo de este módulo, se introducirá el concepto de la ingeniería de sistemas y del ingeniero de sistemas. A este fin, el módulo se ha estructurado en tres unidades. La unidad 3 trata el concepto de la ingeniería y del ingeniero de sistemas. La unidad 4 extiende algunas de las funciones de la ingeniería de sistemas, enumeradas en la unidad 3. La unidad 5 muestra una aplicación de una metodología de sistemas para la resolución de un problema de sistemas, que servirá de ejemplo para la realización del Trabajo Práctico de la asignatura.

UNIDAD 3

Conceptos de la Ingeniería de Sistemas

Cuando se establece una necesidad, comienza lo que es la ingeniería; y la tarea del ingeniero consiste en proporcionar algo que satisfaga esa necesidad, ya sea bajo la forma de un objeto físico o un procedimiento o ambos. El mejor ingeniero es aquél que proporciona, con un mínimo de recursos, una solución que funciona y, de manera simultánea, es placentera estéticamente. Observamos, que la contribución del ingeniero, se trata de una actividad orientada al "cómo", que responde a la pregunta *¿cómo se puede satisfacer esta necesidad?*, luego de definida la necesidad o el *que se desea resolver*. Este punto es fundamentalmente importante, si el ingeniero es un ingeniero de sistemas. Aquí, el enfoque se reduce entonces, a la expresión de la necesidad a satisfacerse bajo la forma de un sistema con objetivos definidos, es decir, un sistema que satisfaga una especificación definida dentro de un tiempo y un presupuesto establecido. Una vez definido el sistema propuesto, el proceso del "cómo", consiste en desarrollar y verificar modelos de sistemas alternativos, y el seleccionar uno de ellos, utilizando criterios cuidadosamente definidos que se puedan relacionar con los objetivos. La verificación de alternativas a menudo implicará al utilizar modelos de simulación utilizando computadoras, y hay muchas técnicas disponibles para auxiliar al ingeniero de sistemas en la selección de la mejor alternativa.

Objetivo de la unidad

Describir a la ingeniería de sistemas a través de sus objetivos y funciones, así como, los rasgos básicos del ingeniero de sistemas.

Estructura de la unidad

Esta unidad se ha agrupado en dos temas: 1) El concepto de la Ingeniería de Sistemas, y 2) El Ingeniero de Sistemas.

El primer tema, trata sobre *el concepto de la ingeniería de sistemas*. Antes de entrar en este tema, creemos que resultaría conveniente, que distinguiésemos primero entre los conceptos de ciencia, tecnología e ingeniería. Para ello, vamos a valernos de la lectura opcional, del libro de Grech, sección 2.2 y 2.3. La tecnología es el conjunto de reglas, procesos y conocimientos que se aplican en determinada área del que hacer productivo humano. La técnica es el conjunto de reglas para construir algo, por ejemplo, para hacer un cañón es necesario seguir determinadas reglas, porque si no podría estallar. Por ciencia se entiende el conocimiento adquirido por la observación, interpretación, explicación teórica y posterior verificación de los fenómenos naturales.

Desde el siglo XIX, ciencia y tecnología avanzan de la mano, proveyendo aquella los principios teóricos sobre los que se basan los desarrollos tecnológicos, por ej. la bomba atómica se desarrolla después que Einstein obtiene su famosa ecuación que relaciona masa y energía. Pero la carrera espacial cambia el orden de primero ciencia y luego tecnología. Ahora es la tecnología, la que indica a la ciencia qué debe investigar para poder desarrollar nuevos procesos y productos. Las grandes corporaciones montan sus sofisticados centros de investigación dedicados a desarrollar ciencia y tecnología, en su área de interés.

La ingeniería es una profesión que se encarga de intermediar entre la ciencia y la tecnología, aplica los principios científicos en el desarrollo de nuevos procesos, instrumentos, herramientas, etc. para el bienestar de la sociedad. Es, en otras palabras, la que desarrolla la tecnología. Entrando en materia, el libro UNA, sección 5.1, no establece un concepto para la ingeniería de sistemas, porque entiende que el mismo sería muy restrictivo, por lo cual, considera más apropiado, describirla en términos de sus objetivos, funciones, y alcance. Es en este último sentido, que podemos decir que "la ingeniería de sistemas, como precepto de idea de transformación, sinónimo de

cambio y superación de aspectos tangibles de la realidad considera como un componente fundamental al enfoque de sistemas". "El enfoque sistémico caracteriza el desenvolvimiento de ideas de sistemas en sistemas prácticos y se debe considerar como la acción de investigación para concretar el uso de conceptos de sistemas en la conclusión de problemas". (El Enfoque de Sistemas. Pg. 2 de 10. Grupo de Investigación en Sistemas – UNA, Puno. www.usuarios.lycos.es/aaldoz/curriculum.htm).

En la sección 5.1.1 del libro UNA, se presentan las funciones de la ingeniería de sistemas, las cuales van desde la formulación de un proyecto de sistemas hasta su conclusión. Para dar cumplimiento a esas funciones, el ingeniero de sistemas requiere, ir de la mano de una metodología y técnicas asociadas. La metodología vendrá definida por el objetivo del proyecto; es decir, las actividades variarán de un proyecto a otro. Al igual, que las actividades metodológicas, las funciones que realiza un ingeniero de sistemas variarán según el tipo de situaciones que aborde. Pudiera prestarse a confusión, el hecho de que se nombren de igual manera, tanto las funciones como las actividades metodológicas a que dan lugar. Esto se aclara, cuando nos fijamos en el significado semántico de las palabras "función" y "actividad". De manera sucinta, podemos decir, que una función es una responsabilidad y una actividad es una acción. Teniendo en mente esta diferencia, podríamos decir, que el ingeniero de sistemas, realiza las siguientes macro funciones: análisis del sistema actual, diseño de sistemas alternativos, construcción del sistema nuevo, e implantación y evaluación del sistema nuevo.

Un ejemplo, que ilustra una forma de agrupar las funciones (de la sección 5.1.1) en las macro funciones que acabamos de referir es el siguiente: 1) Dentro de "Análisis del sistema actual" pueden incluirse las funciones: a) Determinación del problema y b) selección de objetivos; 2) bajo el nombre "Diseño de sistemas alternativos" pueden incluirse las funciones: c) Estudio de alternativas, d) Comparación de alternativas, y e) Selección del mejor sistema; 3) en "Construcción del sistema nuevo" puede incluirse la función f) Desarrollo del sistema.

Visto este ejemplo, conviene aclarar, que tanto las funciones como las actividades metodológicas que hemos tratado, no son exclusivas de la ingeniería de sistemas, sino que aplican a cualquier disciplina ingenieril, que no trabaje dentro del contexto de sistemas. No obstante, la terminología variará, según se utilice o no el enfoque de sistemas. Por ejemplo, en un ámbito disciplinario, la actividad denominada "desarrollo de una alternativa", se denominaría como "desarrollo de un sistema alternativo" en un ámbito de sistemas.

Al inicio de la sección 5.1.1, se aclara que parte de las funciones de la ingeniería de sistemas, se presentaron en una unidad anterior del libro UNA (reflejadas como actividades metodológicas). Esto también es cierto, en este nuevo Plan de Curso. En efecto, en el tema del Enfoque de Sistemas (unidad 2), vimos las siguientes actividades: a) formación del equipo interdisciplinario, b) definición del ambiente del sistema propuesto, c) definición de los objetivos del sistema propuesto, y d) representación conceptual del sistema actual. También, se expresa al inicio de la sección 5.1.1, que las restantes funciones de la ingeniería de sistemas (también, reflejadas como actividades metodológicas), se verán en los siguientes capítulos, y eso, también ocurrirá aquí.

En el libro de Checkland & Acholes, bajo el título "La ingeniería de sistemas y su colapso", se plantea que la ingeniería de sistemas, investiga el "cómo hacerlo", cuando el "qué hay que hacer" ya está definido. No obstante, no ocurre en todos los casos que el problema esté bien definido, es decir, el nombramiento de un sistema que satisfaga una necesidad y el definir sus objetivos con precisión. Por ello, los referidos autores, proponen una metodología peculiar, que arranca con un sistema de indagación, para articular un debate que conduzca a decisiones a nivel del "qué" y del "cómo".

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|------------------------------|---|----------|---------|---|---------|
| A. La Ingeniería de Sistemas | Libro "Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño", de Grech. (Lectura opcional) | 2 | 2.2 | Ciencia, tecnología e ingeniería. | 43-44 |
| | | | 2.3 | Algunas definiciones. | 44-46 |
| | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 5 | - | Introducción | 113-114 |
| | | | 5.1 | Objetivos de la Ingeniería de Sistemas. | 117 |
| | | | 5.1.1 | Funciones de la Ingeniería de Sistemas. | 117-118 |
| | | | 5.1.2 | Los objetivos de la ingeniería de sistemas. | 118-119 |
| | Libro "La Metodología en los sistemas suaves en acción", de Checkland & Acholes. (Lectura opcional) | 2 | | "La ingeniería de sistemas y su colapso" | 33-34 |

El segundo tema, gira en torno al profesional que ejerce la ingeniería de sistemas, es decir, el *ingeniero de sistemas*. En el libro UNA, se describen cuatro rasgos básicos que debe tener el ingeniero de sistemas: a) usar el enfoque sistémico, b) creatividad, c) capacidad de trabajar en grupo, y d) capacidad de comunicación. Estos rasgos son ampliados en la lectura opcional del libro de Grech, sección 2.4 "El perfil del ingeniero", que trata sobre las habilidades de cualquier profesional de la ingeniería: e) capacidad de pensamiento convergente: permite seleccionar de un gran conjunto de datos, aquellos que están relacionados con un determinado problema, y el establecimiento de prioridades en las elecciones; f) capacidad de pensamiento divergente: le permite descubrir más de una respuesta correcta a una pregunta determinada; g) capacidad analítica: es quizás la habilidad que más utiliza un ingeniero, y consiste en descomponer el todo en sus partes, establecer las relaciones entre ellas, extraer las variables principales del sistema, relacionar síntomas con causas, etc.; h) la interdisciplinariedad, es la capacidad de trabajar en grupos con individuos de diferentes disciplinas; i) Serendipia, o actitud indagatoria para aprovechar los hallazgos brindados por el azar, aunque no respondan a lo que nosotros buscamos; j) diseño conceptual, opuesto al diseño detallado, donde el ingeniero define a grandes rasgos lo que se desea, para que otros transformen sus ideas en realidades; k) Dominio de un idioma

técnico: como por ej. el inglés, que se ha vuelto en un idioma mundialmente aceptado, porque de hecho permite que la transferencia tecnológica se haga de una manera natural.

En cuanto a la práctica profesional del ingeniero de sistemas y su influencia en el diseño curricular de diversas disciplinas, el libro de Cárdenas, en su capítulo 9, hace algunas reflexiones al respecto. Expone en la sección 9.1, que es de considerar, el éxito obtenido en muchos grupos de trabajo interdisciplinario, en contraste con el obtenido por profesionales unidisciplinarios, o aún, equipos multidisciplinarios. Esto implica una gran responsabilidad para las universidades. Ya a finales del siglo XX, se observa que en Estados Unidos, el programa de administración de empresas a nivel de licenciatura, ha ido desapareciendo y ha pasado a ser parte de programas de maestría o doctorado con un gran número de materias optativas en diferentes disciplinas. En la sección 9.2, se trata lo referente al ejercicio profesional de las empresas consultoras. Se observa como estas empresas, prefieren cada vez más, contar con grupos interdisciplinarios, que con varios especialistas disciplinarios, por las exigencias que reciben por parte de los ejecutivos de las grandes empresas, quienes se han dado cuenta, que la resolución de ciertos problemas, está ligada a otras consideraciones, aparte de las unidisciplinarias, que serán beneficiosas a largo plazo. Tal es el caso de las empresas de consultoría organizacional, de psicología industrial y de ingeniería.

En la sección 9.3, se trata el aspecto de cómo se puede capacitar al ejecutivo moderno en la implementación del enfoque de sistemas. Ya vimos en el tema anterior, que la ingeniería de sistemas va de la mano de una metodología de sistemas, en la cual una de las tareas iniciales fundamentales, es el involucramiento del personal ejecutivo y operativo de la empresa donde se van a implantar los cambios. Cuando este personal no es receptivo al enfoque de sistemas, lo que se recomienda al grupo interdisciplinario, es esperar que el referido personal solicite ayuda, lo cual tenderá a hacer cuando sienta que sus decisiones no son las óptimas. Además, puesto que para cualquier persona con ambición personal, una nueva idea con pocos riesgos es de mucho atractivo, se le

deberá señalar este último factor como un aspecto fundamental del concepto de sistemas, por la visión exhaustiva que permite en el análisis de los problemas.

Otro de los elementos fundamentales en la capacitación, es erradicar la falsa idea, que ha prosperado sobre todo en los países en vías de desarrollo, que cuando se habla de sistemas, se hace referencia a una tecnología de gran complejidad matemática y cuya aplicación se restringe exclusivamente al uso de la computadora. No obstante, conviene aclarar, que las tecnologías por si mismo, interdisciplinarias, tales como las ciencias de la computación y la investigación de operaciones, son instrumentos básicos para la implementación del enfoque de sistemas siempre y cuando estén debidamente enmarcadas dentro de la metodología de sistemas. Asimismo, se debe enfatizar que el lenguaje sistemático y cuantitativo más básico que se tiene es el de las matemáticas, y que cada día se hace más claro el hecho que uno de los prerrequisitos para la implementación real de un trabajo interdisciplinario es el que los representantes de cada disciplina tengan el mismo nivel de conocimientos en esta ciencia, así como en la estadística.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|-----------------------------|---|----------|-------------------|---|---------|
| B. El ingeniero de Sistemas | Libro UNA: "Introducción a la Ingeniería de Sistemas" | 5 | 5.1.3 | El ingeniero de sistemas | 120-121 |
| | Libro "Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño", de Grech. (Lectura opcional) | 2 | 2.4 | Perfil del ingeniero | 46-50 |
| | Libro "El enfoque de sistemas. Estrategias para su implementación", de Cárdenas. (Lectura opcional) | 9 | 9.1 9.2 9.3 | Reflexiones sobre el desarrollo profesional de sistemas | 145-153 |

Recomendaciones para el estudio del contenido

Una de las actividades que usted realizará frecuentemente durante el desarrollo de este curso es la lectura de los capítulos y secciones del libro "Introducción a la Ingeniería de Sistemas", mismo producido por la UNA, y de la selección de lecturas. Usted debe realizar las lecturas muy cuidadosamente, tomando nota sobre los conceptos y aspectos más relevantes presentados y recapitulando los mismos.

Al finalizar las lecturas, Ud. procederá a realizar los ejercicios propuestos, algunos de los cuales están en el libro UNA, y otros, en este material de apoyo. El propósito al realizar estos ejercicios, es corroborar que ha comprendido el material estudiado. Luego, procederá a comparar su respuesta con la dada a los mismos. En caso de no coincidir, estudie nuevamente el tópico sobre el cual versó el ejercicio. Se le recomienda además, en caso de dudas, consultar a su asesor en el centro local al cual Ud. está adscrito, ya sea presencialmente, vía telefónica o correo electrónico.

Ahora, proceda a realizar los siguientes ejercicios, para afianzar así, los conocimientos adquiridos. Corrobore sus respuestas. Lea las prescripciones.

Ejercicios

Los ejercicios propuestos en el libro UNA para los diferentes temas, con sus correspondientes respuestas y prescripciones, están ubicados en las unidades, secciones y páginas especificadas a continuación:

| TEMA | UNIDAD | SECCIÓN | TÍTULO SECCIÓN | Nro. de los ejercicios | Pgs. de los ejercicios | Pgs. de las respuestas | Pgs. de las prescripciones |
|-------------------------------|--------|---------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| A. La ingeniería de sistemas. | 5 | --- | Autoevaluación | 1 y 2 | 133 | 135 | --- |

Con la respuesta a los ejercicios propuestos, hemos finalizado esta unidad 3.

UNIDAD 4

Identificación de una solución

El éxito en la aplicación del método de diseño en ingeniería descansa en la habilidad de los diseñadores para plantear un elevado número de soluciones posibles al problema de estudio. Si se plantea un reducido número de posibles soluciones, la probabilidad de que la solución escogida sea la mejor para el problema planteado será pequeña. Si se produce un elevado número de posibles soluciones, la probabilidad de que la mejor solución se encuentre entre las planteadas será alta. Una vez que se ha generado el mayor número de soluciones posibles, es necesario seleccionar entre las mismas la que cumple de la menor manera posible, los criterios de selección y todas las restricciones impuestas (Grech, 2001). A diferencia de las otras disciplinas, la ingeniería de sistemas al utilizar el enfoque de sistemas, requiere representar la alternativa seleccionada como un sistema: representación conceptual y representación física. La representación conceptual del nuevo sistema es igual o muy similar al sistema actual, ya que la naturaleza del sistema no cambia. La representación física (tecnológica o de funcionamiento) del sistema nuevo si tiene diferencias con el físico actual, ya que normalmente, variará la forma cómo ahora se cumplirán los objetivos.

Objetivo de la unidad

Identificar en una situación problemática dada, las opciones de solución, la selección y el desarrollo de la mejor opción.

Estructura de la unidad

Esta unidad se ha estructurado en un único tema que gira en torno al planteamiento de alternativas de solución y desarrollo o construcción de una de ellas.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|---|---|----------|---------|--|-----------|
| A. Identificación de opciones de solución, selección y desarrollo de la mejor opción de solución. | Libro UNA "Introducción a la ingeniería de sistemas". | 6 | | Introducción | 137 |
| | | | 6.1 | Determinación de sistemas alternativos | 139 -140 |
| | | | 6.2 | Desarrollo de una alternativa | 140 |
| | | | 6.2.1 | Conceptualización del sistema | 140 |
| | | | 6.2.2 | Representación del sistema o modelo | 140 -146 |
| | | | 6.2.3 | Pruebas del sistema alternativo | 146 |
| | | | 6.3 | Selección del sistema óptimo | 146 - 147 |

Recomendaciones para el estudio del contenido

Una de las actividades que usted realizará frecuentemente durante el desarrollo de este curso es la lectura de los capítulos y secciones del libro "Introducción a la Ingeniería de Sistemas", mismo producido por la UNA, y de la selección de lecturas. Usted debe realizar las lecturas muy cuidadosamente, tomando nota sobre los conceptos y aspectos más relevantes presentados y recapitulando los mismos.

Al finalizar las lecturas, Ud. procederá a realizar los ejercicios propuestos, algunos de los cuales están en el libro UNA, y otros, en este material de apoyo. El propósito al realizar estos ejercicios, es corroborar que ha comprendido el material estudiado. Luego, procederá a comparar su respuesta con la dada a los mismos. En caso de no coincidir, estudie nuevamente el tópico sobre el cual versó el ejercicio. Se le recomienda además, en caso de dudas, consultar a su asesor en el centro local al cual Ud. está adscrito, ya sea presencialmente, vía telefónica o correo electrónico.

Ahora, proceda a realizar los siguientes ejercicios, para afianzar así, los conocimientos adquiridos. Corrobore sus respuestas. Lea las prescripciones.

Ejercicios

Los ejercicios propuestos en el libro UNA para los diferentes temas, con sus correspondientes respuestas y prescripciones, están ubicados en las unidades, secciones y páginas especificadas a continuación:

| TEMA | UNIDAD | SECCIÓN | TÍTULO SECCIÓN | Nro. de los ejercicios | Pgs. de los ejercicios | Pgs. de las respuestas | Pgs. de las prescripciones |
|---|--------|---------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| A. Identificación de opciones de solución, selección y desarrollo de la mejor opción de solución. | 6 | --- | | 1, 2 y 3 | 148-149 | 151 | --- |
| | | | Autoevaluación | 1 y 2 | 153-154 | 155 | 156 |

Con la respuesta a los ejercicios propuestos, hemos finalizado esta unidad 4.

UNIDAD 5

Aplicación de la ingeniería de sistemas

Sin lugar a dudas, la función más importante que desarrolla un ingeniero en su actividad profesional es diseñar; es la esencia de la ingeniería, su razón de ser. Las demás funciones se derivan de esta principal. Con el diseño se busca y halla la mejor solución a un problema planteado. En general, los problemas que se le presentan a los ingenieros tienen una característica en común: son abiertos. Esto quiere decir que admiten múltiples soluciones; a una de ellas se considera la mejor. Por mejor se entiende la que satisface simultáneamente una serie de restricciones (tiempo, costo, calidad, entre otros) en cierto modo opuestas, y optimiza un conjunto de criterios de selección (Grech, 2001).

La ingeniería de sistemas no es una nueva disciplina propiamente hablando; es sólo un complemento al conocimiento profesional, que permite un mejor y más eficaz uso del mismo. Utiliza una lógica de análisis y un enfoque que permite la conjunción de los puntos de vista de diferentes disciplinas para la solución de problemas complejos (Cárdenas, 1978). Es obvio que para resolver estos problemas se requiere una amplia visión, lentes telescópicos que abarquen el espectro total del problema, y no sólo una porción aislada de éste. El enfoque de sistemas puede describirse entre otros, como un marco de trabajo conceptual común. Los sistemas se han originado en campos divergentes, aunque tienen varias características en común: propiedades y estructuras, y métodos de solución y modelos. En cuanto a lo segundo, el enfoque de sistemas busca encontrar la relación de métodos de solución, a fin de extender su dominio de aplicación y facilitar la comprensión de nuevos fenómenos. Siempre que sea posible, debemos combatir la especialización y compartimentalización. Quisiéramos extender y generalizar el conocimiento que ya poseemos a disciplinas y problemas adicionales. Como los demás enfoques científicos, no trata problemas metodológicos –dificultades– que no puede resolver a su propia satisfacción. Tan pronto se adopta el enfoque de sistemas, aparecen los siguientes problemas de dualismo o dualidad:

- Simplicidad contra complejidad

No podemos hacer frente a problemas complejos, de aquí que intentemos aportar versiones más simples. Al simplificar nuestras soluciones, éstas pierden realismo. Por tanto, estamos divididos entre la incapacidad de resolver problemas complejos y la falta de aplicabilidad de soluciones obtenidas de modelos simples.

- Optimización y suboptimización

Solamente podemos optimizar sistemas cerrados, como son los modelos en los cuales se conocen todos los supuestos y condiciones limitantes. Las situaciones de la vida real son sistemas abiertos, porciones que pueden, a lo mejor, estar parcialmente optimizadas. Además, optimizar los subsistemas no garantiza que el sistema total óptimo se logre, en tanto que la optimización del sistema total (si se llega a lograr) no garantiza que puedan optimizarse al mismo tiempo los subsistemas.

- Idealismo contra realismo

Nunca podemos alcanzar lo óptimo, la solución claramente ideal. Si va a tener lugar la implantación, debemos aceptar versiones más realistas de lo óptimo.

- Incrementalismo contra innovación

Suponiendo que somos incapaces de partir drásticamente de patrones de solución establecidos, buscamos soluciones cercanas a las actualmente aceptadas (incrementalismo) y creemos mejorar los sistemas existentes mediante el análisis de la operación de los subsistemas existentes mediante el análisis de la operación de los subsistemas componentes (mejoramiento de sistemas). Estos enfoques nunca tienen éxito en la solución total de los problemas, lo cuál requiere la adopción de nuevos diseños a nivel del sistema total

- Política y ciencia, intervención y neutralidad

Debemos decidir si las ciencias deben permanecer libres de valores, en la teoría y sin compromisos, o si la ciencia debe orientarse a un objetivo, buscar influir en los resultados e interesarse en la ética de las consecuencias que impone en los receptores.

- Acuerdo y consenso

Las planeación requiere que todos los participantes contribuyan a las soluciones de los sistemas y su implantación. Para obtener tales resultados se necesita un consenso que es difícil de lograr cuando se premia la individualidad e independencia.

Todos estos dilemas se presentan súbitamente tan pronto como buscamos aplicar el enfoque de sistemas a nuestros problemas. Dilemas que son comunes a todos los problemas y soluciones de sistemas. Por tanto, consideramos que, a menos que se resuelvan, realmente no estamos adoptando una solución de sistema total. Al final de este resumen será claro que muchos de estos temas quedaron sin resolver.

La dualidad no es un estado de cosas peculiar a las ciencias sociales. En las ciencias físicas, a fin de explicar todos los fenómenos, admitimos una teoría electromagnética a la vez que una teoría cuántica de luz. En la mecánica aceptamos ciertas relaciones entre fuerza, masa y aceleración a velocidades más lentas que la velocidad de la luz, pero relacionamos la masa con la energía a la velocidad de la luz. Ambas teorías son lógicas. Por un lado, existen razones para creer que el dualismo es un estado de cosas peculiar a las ciencias sociales y que el mundo fluctúa entre los extremos de un espectro, como el hombre entre lo bueno y lo malo. Por otro lado, la dualidad sólo puede ser una transición hacia un estado único que vendrá cuando comprendamos mejor el mundo. Al final, debe prevalecer una solución de sistema única (www.usuarios.lycos.es/aaldoz/curriculum.htm).

Objetivo de la unidad

Describir las funciones de la ingeniería de sistemas usadas en la solución de un caso dado.

Estructura de la unidad

Esta unidad tiene como propósito, presentar la resolución de una problemática de sistemas, que oriente al estudiante en lo que va a constituir el Trabajo Práctico (TP) de la asignatura. El eje que guía el desarrollo del TP, lo constituye una metodología de sistemas, cuyo esbozo general ya hemos presentado. No obstante, a fin de enriquecer el análisis de situaciones problemáticas y síntesis de soluciones, consideramos necesario abordar con una mayor profundidad, algunas actividades que hemos expuesto en las unidades 2, 3 y 4; por lo que, hemos estructurado esta unidad en base a un conjunto de lecturas al respecto. Como hemos aclarado en otra ocasión, estas actividades no son únicas de la ingeniería de sistemas, sino que son también utilizadas en el análisis unidisciplinario. Luego de estas lecturas, se presenta como ejercicio propuesto, un caso particular, donde se realiza el análisis de una situación problemática (que enunciamos al principio de este párrafo), y se genera una posible solución de sistemas, todo ello, al compás de una metodología adaptada al caso específico.

| TEMA | MATERIAL DE REFERENCIA | CAPÍTULO | SECCIÓN | TÍTULOS | PGS. |
|--|------------------------|----------|---------|-----------------------------------|------|
| A. Aplicación de la ingeniería de sistemas | Lectura 5.1 | | | Criterios y restricciones | |
| | Lectura 5.2 | | | Definición del problema | |
| | Lectura 5.3 | | | Generación de posibles soluciones | |
| | Lectura 5.4 | | | Selección de la mejor solución | |

Recomendaciones para el estudio del contenido

Al finalizar la selección de lecturas, Ud. procederá a realizar la lectura del ejercicio propuesto y resuelto, que servirá de guía para la realización del trabajo práctico. La situación problemática que se presenta se aborda desde una perspectiva de sistemas: la conjunción de diferentes puntos de vistas unidisciplinarios, y la visión del todo y no las partes. De una manera estructurada, se presentan los aspectos que debe contemplar la documentación de todo proyecto de investigación: introducción, marco teórico, marco metodológico, el problema, la solución al problema. En cada periodo

académico, se planteará como TP una situación problemática distinta, conjuntamente con las prescripciones para realizar dicho TP.

Ahora, proceda a realizar la lectura del siguiente ejercicio práctico. Recuerde que este ejercicio, sólo pretende servir de guía para la realización del trabajo práctico. En la ingeniería, no hay soluciones únicas, pero si, una forma ordenada y razonada de abordar situaciones por más complejas que sean o parezcan. En caso de dudas, repase el material instruccional pertinente.

Ejercicio

A continuación se plantea como situación problemática, los efectos que está ocasionando la forma improvisada de realizar un incipiente ecoturismo en una zona de República Dominicana. A semejanza del TP, se muestra el informe escrito contentivo de los pasos metodológicos seguidos para la resolución del caso planteado, y los resultados obtenidos en cada paso.

INTRODUCCION

En los siglos pasados, los seres humanos tuvimos un vínculo mucho más fuerte con la naturaleza. En la segunda mitad del presente siglo, a medida que se producía un crecimiento de las ciudades, comenzó una fuerte migración de los pueblos hacia las ciudades y hacia el extranjero. En la medida que el ser humano se fue alejando de la naturaleza, fueron surgiendo movimientos de amantes de la naturaleza, principalmente con fines de disfrutar la belleza escénica y de ver plantas y animales pocos comunes.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/fca1/primeraferia.htm>

El turismo de la naturaleza o ecoturismo se ha convertido en un fenómeno de gran volumen y se practica de diferentes maneras y en diferentes sitios. Se utilizan los bosques, las selvas, montañas, desiertos, lagos, ríos. Se desarrollan infinidad de actividades como la pesca, los safaris, la cacería, la tala, la toma de fotos, la recolección de flora, estudios de investigación y en fin, un sin número de acciones que cuando son incontroladas, destruyen diferentes ecosistemas y crean desigualdades geológicas. Es necesario entender que el ecoturismo sano es el que logre establecer un nivel de compensación entre el disfrute de la naturaleza y la obtención de recursos naturales para usos industriales o alimentarios, pues la conservación de la biodiversidad es condición "sin equanón" para el bienestar y vivencia del ser humano y de otras especies.

Fuente: <http://www.venezuelatuya.com/articulos/turismo0104.htm>

En tal virtud, el ecoturismo representa una actividad social, económica, ambiental, y cultural que combate de frente el flagelo de la pobreza, de la exclusión social y del éxodo que arranca al habitante de una localidad de sus tradiciones y, por qué no, de superar sus limitaciones junto a su gente. El ecoturismo contribuye a motorizar un desarrollo, nacional y local, integral y sostenible

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/fca1/prefac4.htm>

EL PROBLEMA

Antecedentes del problema

El ecoturismo es una de las alternativas de desarrollo de los países tropicales en vías de desarrollo, dada sus múltiples y exóticos atractivos, su alta biodiversidad, la disponibilidad de recursos humanos y muchos otros indicadores. En Latinoamérica, existen países donde se están implementando estrategias nacionales ecoturísticas, como gestión política para su desarrollo bajo las directrices del sector oficial del turismo. Tal es el caso de República Dominicana, que cuenta con el más grande potencial ecoturístico del Caribe, entre otras razones por contar con la mayor biodiversidad de todas las Antillas, con gran cantidad de parques nacionales y áreas equivalentes, las que cubren aproximadamente un 12% del territorio; gran diversidad de paisajes, el más diverso mosaico étnico-cultural, entre muchas otras razones. En el año 1997, se movilizaron más de 150.000 turistas naturalistas, lo que coloca a Dominicana en el primer lugar en las Antillas, con perspectivas de un mayor crecimiento para el año 1998.

En República Dominicana, la década del 70 marca el inicio del proceso de desarrollo sostenible del turismo, tanto por parte del Estado como de la comunidad.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/iiferia.htm>

Otros factores que potencializan éste real desarrollo ecoturístico de Dominicana son:

Participacion del Estado:

- La Unidad de Ecoturismo se crea en la Dirección Nacional de Parques, a comienzos de la década del 90.
- El primer congreso internacional de ecoturismo, se celebra en 1994.
- El Ministerio de Turismo crea en 1995 la Comisión Nacional de Ecoturismo, y hace suyo el modelo de desarrollo sostenible, con resultados a partir de 1996:
 - Presta asesoría ambiental
 - Promueve los atractivos naturales o ecoturísticos como parte de la oferta del país
 - Impulsa el ecoturismo a través de las oficinas de turismo en el exterior
- La SECRETARÍA de Estado de TURISMO (SECTUR), crea el Departamento de Ecoturismo y Medio Ambiente (DEM) en 1997.
- El Departamento de Ecoturismo y Medio Ambiente implementa una estrategia nacional de desarrollo ecoturístico:
 - Establece convenios de cooperación entre las ONG ambientalistas y la SECTUR, para el desarrollo del ecoturismo
 - Categoriza las empresas y micro-empresas ecoturísticas.
 - Inicia una sección semanal de ecoturismo en un programa de televisión
 - Organiza talleres de capacitación ecoturística
 - Inicia de la capacitación de guías locales de ecoturismo
 - Promueve la creación de nuevas empresas ecoturísticas en varios puntos de la geografía nacional
- La creación de la Maestría en Ecoturismo, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Santo Domingo.
- Surgen consultoras en el área de ecoturismo
- La celebración de sucesivos congresos, seminarios, talleres y ferias ecoturísticas en el país, con especialistas nacionales e internacionales, convirtiéndose en uno de los principales factores de publicidad y promoción de ecoturismo.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/participi.htm>

Participacion comunitaria:

- La primera touroperadora de ecoturismo (Ecoturisa) se crea a inicios de los 90.
- La creación de empresas y micro-empresas, administradas por la misma comunidad.

Empresas ecoturísticas de:

- Alojamiento: ecolodge, resort ecoturístico, hotel botón verde, y albergue ecoturístico.
- Alimentos y bebidas: restaurante típico de ecoturismo y restaurante naturalista o vegetariano de ecoturismo.
- Transporte ecoturísticos: terrestre, acuático.
- Agroturismo

Micro-empresas ecoturísticas de:

- Artesanía
- Equitación y cabalgata
- Folklore
- Guías prácticos

- Agroturismo
 - Agroecoturismo
 - Turismo rural
 - Zoocriadero
 - Plantas medicinales o farmacopea
 - Panadería y repostería
- Las empresas aportan a la propia comunidad:
 - La fundación de escuelas rurales
 - La fabricación de caminos vecinales
 - La construcción de canchas deportivas
 - La celebración de jornadas médicas, entre otras,

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/estrateg.htm>

Descripción del problema

En República Dominicana uno de los atractivos naturales es el del Salto El Limón de Samaná. El lugar, desde hace unos pocos años, ha venido siendo visitado sobre todo por personas del interior del país, aunque incorporándose poco a poco visitantes extranjeros. Los pobladores que viven en los alrededores del salto, se dedican a las labores del campo, especialmente la agricultura rural y la cría de animales, e incipientemente a actividades artesanales. El producto de sus actividades es generalmente para consumo propio, y pocas veces, pueden canjearlo en zonas vecinas por otras mercancías como alimentos, medicinas y vestido. Por ser una comunidad rural bastante aislada, no goza de los servicios básicos como atención médica, escuelas donde se imparta educación formal, servicios religiosos, servicio corriente de agua y electricidad, tratamiento de la basura, etc.

El ecoturismo en el salto se ha venido desarrollando entre varias limitaciones y produciendo efectos negativos al medio ambiente y a los pobladores del lugar (Nota: Al momento de la búsqueda de esta información, algunos de los aspectos citados, eran reales y otros han sido modificados o añadidos a fin de plantear un caso con un mayor potencial de aplicabilidad de las funciones de la Ingeniería de Sistemas):

En las proximidades al salto:

- La casi inaccesibilidad a las cercanías al salto y al propio salto, por lo intrincado de la zona.
- La tala de árboles por parte de los visitantes, con el propósito de despejar el terreno e improvisar caminos para introducir vehículos de motor como rústicos y motocicletas. Esto aunado, a la deforestación que ya venía ocurriendo por parte de los lugareños, con el propósito de la siembra artesanal y por grandes empresas con la extracción ilegal de madera. Consecuentemente, disminuyen las lluvias y por ende, se ha reducido el caudal del salto.
- La sustracción de plantas y animales que son apetecibles a los turistas, y su venta a éstos, por precios hasta irrisorios.
- La creación de zangas en el terreno por el efecto que producen en el mismo, el rodamiento de los cauchos de los vehículos.
- La contaminación del ambiente debido al ruido y humo producido por la carburación de los vehículos.
- La preparación de comidas improvisadas al aire libre, con el consecuente peligro de un incendio.

- El uso de productos químicos (detergentes) para fregar utensilios de cocina y lavar ropa en el río, cuyas aguas luego se dirigen al salto.
- El depósito de basura en cualquier lugar del terreno.
- El colgado de chinchorros o hamacas, en los árboles, con la consecuente agresión a los mismos, al incrustarseles clavos, cortarles ramas, con la quizás, consiguiente destrucción de nidos.
- La caza furtiva de animales silvestres, como conejos y aves.
- La compañía casual de los pobladores a los visitantes, generalmente de manera gratuita, o recibiendo a lo mas, una propina.
- El abandono ocasional de la escuela por parte de muchachos en edad escolar, cuando se dedican a prestarle asistencia como acompañantes a los visitantes al salto.
- El uso improvisado de las bestias que se usan en labores del campo, para transportar a los visitantes al salto.
- La inexistencia de servicios sanitarios.
- La ausencia de servicios de hospedaje.
- La carencia de servicios de comida regulares, la cual a veces se suple por petición del ecoturista a algún poblador de la zona, estableciendo este último a su propia discreción, el precio de la misma.
- La falta de supervisión de la calidad e higiene de la comida.
- La falta de asistencia y botiquines de primeros auxilios:

En el salto:

Una vez que el visitante llega al salto, debe iniciar el descenso al mismo y posteriormente el ascenso, cuando termina el recorrido. Tanto en el descenso como en el ascenso se ha venido observando lo siguiente:

- El sendero de descenso al salto, ubicado a un lado del mismo, por ser muy inclinado y contener mucho lodo, debido a la humedad constante de la zona, resulta peligroso de transitar ya que atenta contra la seguridad del visitante.
- El camino de ascenso, ubicado al lado contrario del sendero de descenso al salto, está comenzando a erosionarse por la debilidad de la constitución del terreno.
- Algunos visitantes, descienden y ascienden con sogas (canyoning), por la propia pared del salto, deteriorando dicha pared, ya que de por si, es de naturaleza frágil.
- Algunos campesinos están manifestando su intención de construir en las cercanías de la caída del agua del salto, para iniciarse en el negocio de la atención al visitante naturalista. Estas construcciones atentarían contra la conservación y belleza natural del salto.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/limon.htm>

En virtud, de las limitaciones, afectación progresiva de la biodiversidad y aspectos socioculturales y económicos que presenta el sector del Salto El Limón, se desea buscar una solución holística que permita un desarrollo sustentable del ecoturismo en la zona del Limón.

El desarrollo ecoturístico debe: a) estar enmarcado, en lo posible, dentro de los fines que persigue el ecoturismo (expuestos en el marco teórico); b) satisfacer las restricciones impuestas sobre el uso ecoturístico del salto; c) atender a aproximadamente a 20.000 ecoturistas; d) el proyecto que se plantee debe estar listo en un año. El desarrollo de la solución debe realizarse y documentarse sobre la base del marco metodológico presentado.

Esquematación del problema.

La forma cómo ha venido desarrollándose el ecoturismo en el Salto El limón, conviene analizarla según los indicadores o factores identificados en un desarrollo sostenible, ya que así, estamos facilitando la búsqueda de una solución, la cual según se nos planteó, debería apuntar hacia un desarrollo sostenible. Se tomarán en cuenta, no sólo los aspectos que se presentan en la incipiente actividad ecoturística del salto, sino también aspectos potenciales que ya se han manifestado en sitios ecoturísticos similares. La consideración de estos aspectos potenciales garantizarán una solución más permanente en el tiempo.

Los factores y sus aspectos actuales asociados son:

- El factor ecológico.

Daño a la flora:

- Sustracción de plantas.
- Tala de árboles y consecuente disminución del caudal de agua del salto.
- Destrucción de las plantas por los eventuales incendios provocados sin intención.
- Daño a los árboles por el colgado de hamacas o chinchorros.

Daño a la fauna:

- Sustracción de animales.
- Disminución de la fauna, por la caza furtiva.
- Maltrato a los animales de carga, al usarlos para un propósito distinto al usual.

Daño al suelo:

- Hundimiento del suelo por el rodamiento de vehículos.
- Exparcimiento de la basura.
- Diseminación de excrementos.
- Desgaste del suelo en el camino de ascenso del salto.
- Erosión de la pared del salto.

Daño a las aguas:

- Contagio de las aguas del salto con el uso de productos químicos.

Daño al aire:

- Contaminación sónica e impurezas del aire, por la circulación de vehículos.

- El factor sociocultural.

- Abandono ocasional de la escuela por parte de lugareños en edad escolar.

- El factor económico.

- Improvisación de los pobladores como guías prácticos a los ecoturistas, generalmente de manera gratuita.
- Ausencia de servicios de hospedaje.
- Carencia de servicios de comida, que ocasionalmente se suple a precios sin control.
- Inexistencia de supervisión de la calidad e higiene de la comida.
- Falta de asistencia y botiquines de primeros auxilios.
- Reducción de visitantes naturalistas potenciales, por la inaccesibilidad a la zona del salto.
- Descenso en el número de visitantes, si los lugareños insisten en construir en las cercanías del salto, y consecuentemente, el deterioro de su belleza escénica.

En general, el ecoturismo incontrolado se convierte en un ciclo de nacimiento-crecimiento-muerte. En el nacimiento, llegan los primeros ecoturistas y consiguen amabilidad por parte de la

población local y el disfrute de una naturaleza casi virgen. En el crecimiento, se esparce la noticia de la existencia del lugar y los ecoturistas llegan más regularmente, aumentando la presión sobre los recursos naturales y afectando las actividades socioculturales de los lugareños. En la muerte, los operadores del ecoturismo y los ecoturistas comienzan a buscar nuevos lugares, por la degradación de los aspectos ambientales, sociales y culturales que antes los atraían. Los aspectos potenciales que pudieran presentarse con el aumento del ecoturismo en una forma desordenada en la zona del salto, estarían expresados en la magnificación de los hechos que ya vienen ocurriendo y en el surgimiento de otros.

Los factores y sus aspectos potenciales asociados son:

- El factor ecológico

- Daño a la flora:

- Reducción significativa de la vegetación, manifiesta en la tala de árboles, la sustracción de plantas, y los incendios.
 - Mengua de los bosques (madera), para satisfacer las demandas energéticas para cocinar y proveer luz a los turistas.

- Daño a la fauna:

- Disminución de animales silvestres y domésticos, si va en aumento la sobreexplotación de los mismos.

- Daño al suelo:

- Incremento de la contaminación y deterioro del suelo, en la medida que se continúen diseminando la basura y los excrementos; se creen indiscriminadamente nuevas vías de acceso y se usen insensatamente las ya existentes.

- Daño a las aguas:

- Disminución progresiva del caudal del agua del salto, si continúa reduciéndose la vegetación.
 - Recorte del consumo de agua para la población local, debido a la disminución del caudal del río y al crecimiento eventual del abastecimiento al centro ecoturístico que se forme accidentalmente en la zona del salto.
 - Afectación del agua del río, si aumenta su contaminación por productos químicos.

- Daño al aire:

- Aumento posible del uso de transportes como motos, automóviles, autobús, que queman combustible, incidirá aún más en la contaminación del aire.

- El factor sociocultural

- Despojo de las costumbres propias (enajenación) y suplantación por las extrañas, como estilo de vida, patrones de trabajo, etc.
 - Reducción de la producción agropecuaria, por dedicarse los lugareños a la actividad ecoturísticas.
 - Migración de los habitantes de zonas relativamente cercanas al salto, al sector del salto, en caso de surgir un centro ecoturístico dicho sector.
 - Aumento del consumismo, producto de una mejora económica por el ejercicio de actividades ecoturísticas.
 - Aumento del costo de la vida, debido a la incidencia del ecoturismo en la zona del salto.
 - Surgimiento de la delincuencia, drogadicción, y prostitución (y consiguientes enfermedades sexuales).
 - La migración campo-ciudad, y por ende, marginalidad urbana, en caso de morir el eventual centro ecoturístico del salto.

- El factor económico
 - Aumento y posterior disminución de los ingresos económicos de los pobladores, en caso del auge y caída de las actividades ecoturísticas del salto.

MARCO TEÓRICO

El turismo naturalista o ecoturismo como es conocido universalmente, en todas sus modalidades constituye la mejor concretización del modelo de desarrollo sostenible del turismo hoy día, a nivel mundial. El ecoturismo se está implementando en todos los países del mundo donde el turismo es fuente fundamental en la generación de divisas, alcanzando el mayor índice de crecimiento, con un promedio de 15% anual, según la Organización Mundial del Trabajo (OMT).

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/ecoturism.htm>

Definición de ecoturismo

No existe un consenso universal ni nacional sobre una definición de ecoturismo. Una de ellas, reza así: "El uso de áreas naturales por la actividad turística en forma *sostenible*, con la finalidad de disfrutar y conocer su cultura e historia natural, sobre la base de *planes de manejo* que minimicen los impactos en el medio ambiente, a través de modelos de *capacidad de carga* y monitoreo periódico, integración de las comunidades locales y otras medidas que conserven dichas reservas para las generaciones presentes y futuras".

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/estrateg.htm>

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, plantea en 1972, en la "Primera Cumbre Mundial Sobre Desarrollo y Medio Ambiente", el concepto de "*Eco Desarrollo*" como la alternativa para lograr un desarrollo armónico entre el hombre y la naturaleza. Posteriormente, en 1987, plantea un nuevo concepto para dicho desarrollo, bautizado con el nombre de "*Desarrollo Sostenible*". No obstante, fue en el año 1992, donde se consolidó este último concepto, el cual se fundamenta en tres principios:

- 1) La sostenibilidad ecológica garantiza que el desarrollo sea compatible con el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, de la diversidad biológica y de los recursos biológicos.
- 2) La sostenibilidad social y cultural garantiza que el desarrollo aumente el control de los hombres sobre sus propias vidas, sea compatible con la cultura y los valores de las personas afectadas, y mantenga y fortalezca la identidad de la comunidad.
- 3) La sostenibilidad económica garantiza que el desarrollo sea económicamente eficiente y que los recursos sean gestionados de modo que se conserven para las generaciones futuras.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/ecoturism.htm>

Se busca satisfacer las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de las generaciones venideras para satisfacer las propias. Esto se conoce hoy como el *desarrollo sustentable*.

Fuente: <http://www.tuxtlas.org/ecol.htm>

Los *planes de manejo* son programas que integran las variables físicas, biológicas, históricas, socioeconómicas, culturales y ambientales, con la finalidad de planificar un desarrollo sostenible del turismo ecológico, en un área de conservación, ya sea un parque nacional, una reserva o cualquier otra modalidad de área protegida, que pueda ser estatal o privada, y que permita este tipo de actividad. Tiene como finalidad determinar cuáles son los objetivos del área, acorde con

las potencialidades y limitaciones de los recursos, así como la producción de bienes y servicios. Señala cuáles son los programas y proyectos que deben ejecutarse, donde se conjuguen la explotación turística de atractivos naturales y culturales, la conservación y la integración de las comunidades.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/estrateg.htm>

El control turístico se mantiene usando la noción de capacidad de carga:

- *Capacidad de cargas ecológicas*, es decir, control de las actividades para limitarlas a un nivel que no afecte el equilibrio del medio ambiente natural.
- *Capacidad de cargas del espacio*, la cual fija las densidades tolerables en función de la preservación que hay que asegurar en función de las áreas naturales.
- *Capacidad de carga de las infraestructuras*, la cual fija la naturaleza y el nivel de las inversiones para la implantación de servicios permanentes o temporales que requiere el turismo.
- *Capacidad de cargas sociales*, la cual fija la naturaleza de la actividad turística y los flujos de visitantes a niveles apropiados, con el fin de no desequilibrar y poner en tela de juicio las otras actividades tradicionales, en particular, aquellas que conciernen a la explotación de los recursos renovables.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/fcal/prefac6.htm>

Modalidades de turismo naturalista

- 1) El ecoturismo propiamente dicho, es la más especializada de todas las modalidades del turismo naturalista, ya que se fundamenta en la oferta de los atractivos naturales de flora, fauna, geología, geomorfología, climatología, hidrografía, etc. y las manifestaciones culturales locales, integración de las comunidades locales, etc., a través de pequeñas, medianas y microempresas.
- 2) Aventuras: es aquel donde el contacto con la naturaleza requiere de grandes esfuerzos y altos riesgos, dada la naturaleza del mismo, tales como rafting, canyoning, parapente, cabalgatas, mountain bike, caving o espeleología deportiva, montañismo, buceo deportivo, etc.
- 3) Agroturismo: muestra y explica al ecoturista todo el proceso de producción de las fincas agropecuarias y las agroindustrias, culminando con la degustación de la producción.
- 4) Agroecoturismo: aquí se dan un conjunto de relaciones sociales entre los ecoturistas y las comunidades campesinas con proyectos de reforma agraria, mientras convive con éstos.
- 5) Ictioturismo o pesca deportiva: es la actividad diseñada por el ecoturista conservacionista inclinado por dicha actividad, la que disfruta viviendo la sensación de capturarla, medirla, pesarla y devolverla nuevamente al agua, para evitar la extinción de las especies.
- 6) Científico: es la oferta de una estación biológica en un área protegida para que científicos naturalistas puedan realizar investigaciones en los diferentes campos de las ciencias naturales (biología, botánica, zoología, biogeografía, ecología, etc.) apoyados en la rica biodiversidad de los trópicos. Se oferta la reserva para la investigación, alojamiento, alimentos y bebidas, entre otros servicios, a cambio de un pago.
- 7) Rural: es la oferta de habitaciones en sus viviendas o de casas completas por parte de las comunidades rurales, con la finalidad de que disfruten la experiencia de las actividades propias del campo.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/ecoturis.htm>

Fines del ecoturismo

- Contribuye a la conservación de los recursos naturales, por cuanto estos son la base de la oferta ecoturística, conjuntamente con las manifestaciones culturales locales.
- Resalta la valoración del patrimonio natural y cultural: si el producto ecoturístico por excelencia son los atractivos naturales y las manifestaciones culturales locales, es lógico que al proporcionar éstos, beneficios económicos, sean valorados como fuente de calidad de vida y perpetuidad en el tiempo y el espacio.
- Induce a la planificación y manejo de recursos naturales y culturales
- Genera empleos y beneficios económicos a las poblaciones locales mejorando la calidad de vida
- Promueve la investigación científica, especialmente de los recursos naturales.
- Integra áreas marginales, tanto silvestres como poblaciones, al desarrollo de la economía nacional
- Es un importante instrumento para la capacitación y la concientización de las poblaciones marginales y los ecoturistas
- Estimula a la creación de medianas, pequeñas y microempresas turísticas, contribuyendo a la democratización del dólar turístico
- Contribuye a la mejoría económica de países tropicales deprimidos
- Canaliza fondos y asistencia técnica para la conservación de los recursos naturales.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/ecoturismo.htm>

Los imprevisibles efectos sobre el turismo (proyectables al ecoturismo)

Sin embargo, no siempre se han cumplido las expectativas que se tenían del turismo como motor de desarrollo económico. Este intento, con más frecuencia, resulta en vano, porque el turismo, como actividad económica de temporada, reacciona con celeridad a los imprevistos: inestabilidad política, desastres naturales, epidemias, criminalidad, etc. Estos factores, en combinación con la gran competencia con otros países, pueden provocar que la demanda de un lugar de destino caiga en picado de un día a otro.

A esto se une, en el terreno puramente económico, que a los ingresos por divisas turísticas (fuente fundamental de muchos países) hay que restar una suma considerable para la importación de los artículos necesarios precisamente para fomentar un turismo de calidad, un gasto que, en las regiones más apartadas y casi sin explotar, puede alcanzar hasta el 90% del total de las divisas.

Fuente: <http://revista.consumer.es/web/es/19990701/medioambiente/31165.jsp>

Influencia del turismo en la naturaleza (proyectables al ecoturismo)

Se estima que el turismo puede ser un instrumento de gran importancia para la protección del medio ambiente, ya que los ingresos que se obtienen sirven para ayudar a financiar la preservación de parques naturales y proteger regiones ecológicamente sensibles ante la implantación de usos alternativos perjudiciales. Además, y siempre que esté orientado hacia la ecología, puede enriquecer no sólo la educación ambiental del turista, sino también la de la población local.

El turismo influye de forma considerable en el aumento del tráfico. El desplazamiento a los destinos turísticos se realiza por lo general en automóvil, autobús, avión o tren, y curiosamente, cuando éstos son muy largos, el 90% de la energía primaria consumida durante el periodo de vacaciones se puede llegar a gastar en los trayectos de ida y vuelta, de forma que las emisiones por la quema de combustible se convierten en uno de los mayores problemas ambientales de este sector y, especialmente, en el transporte aéreo (en gran parte turístico).

Por último, el alto consumo de agua en zonas con escasez de este recurso natural constituye un problema de gran envergadura, ya que, en muchas ocasiones, el abastecimiento para el centro turístico se realiza a costa de un recorte del agua para la población local.

Fuente: <http://revista.consumer.es/web/es/19990701/medioambiente/31165.jsp>

Impactos socioculturales negativos del turismo (proyectables al ecoturismo)

La incidencia ocurre en:

- La prostitución en todas sus manifestaciones y sus efectos.
- Las enfermedades sexuales y sus efectos.
- Las costumbres, hábitos, la moda, etc. (transculturización).
- La drogadicción.
- El consumismo. Indiscutiblemente que la actividad turística genera empleos, y por lo tanto mejora los ingresos, situación que aumenta el consumo en la población que labora en el sector.
- El costo de la vida del lugar turístico, debido a la gran incidencia del turismo en el mismo.
- La migración campo-ciudad, y por ende, marginalidad urbana.
- La producción agropecuaria. La mayoría de las fincas se dedican a las actividades turísticas. Otro factor que reduce la producción agropecuaria es la migración del campo a los centros turísticos que ha generado el turismo.

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/socio.htm>

El turismo sostenible como reto del futuro (proyectables al ecoturismo)

Para minimizar el impacto negativo del sector turístico, la Asamblea de las Naciones Unidas celebrada en junio de 1997 solicitó a la Comisión de Desarrollo Sostenible (CSD) que presentara un programa de trabajo dirigido a fomentar un turismo sostenible y adecuado a aspectos éticos, sociales y culturales, así como a garantizar el cuidado del medio ambiente y unos buenos resultados económicos.

Los promotores del turismo sostenible apelan a la comunidad internacional, a empresas del sector y a los gobiernos para que adopten una serie de medidas más globales a favor, por ejemplo, de una *sostenibilidad ética, social y cultural* que incluya el respeto a los derechos humanos, la erradicación de la prostitución y del trabajo infantil, la participación de la población local en la vida política y la creación de condiciones laborales más justas y humanas para los trabajadores de esta rama.

Por último, solicitan una *sostenibilidad económica* que aumente los ingresos de la población local, que limite el número de propiedades turísticas en poder de capital extranjero y que permita la participación de los grupos sociales-locales, sobre todo de mujeres y jóvenes, para que éstos se beneficien también de la riqueza creada.

Fuente: <http://revista.consumer.es/web/es/19990701/medioambiente/31165.jsp>

MARCO METODOLÓGICO

Se han desarrollado diversas metodologías para llevar a cabo el proceso de diseño de la solución a problemas abiertos que debe enfrentar el ingeniero; unas adaptadas a situaciones específicas, otras de carácter más general. La metodología de sistemas utilizada en este caso, está estructurada según las etapas concebidas y presentadas en el material de apoyo, y contiene una serie de pasos o actividades que no son rígidas, y que variarán según la naturaleza y estrategia de solución del problema.

ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

1. Formación del equipo interdisciplinario

La conformación de un grupo de trabajo integrado por especialistas en varios temas, asegura una visión de conjunto y que se pueda detallar o profundizar en la jerarquización de áreas-problemas y la asignación de prioridades establecidas a través de la perspectiva global del grupo.

2. Definición del sistema actual

A fin de obtener un cierto conocimiento del sistema actual, el mismo se describe a un nivel de lo que hace o debe hacer el sistema (modelo conceptual), sin tener en cuenta el modo en que opera el sistema (modelo de funcionamiento). El modelo conceptual ayuda a definir las necesidades o requerimientos del sistema nuevo o propuesto. Para el sistema actual se definen su objetivo, medio ambiente, subsistemas, componentes, interacciones y representación conceptual.

3. Objetivos del sistema nuevo

Una vez conocida la problemática actual y el sistema subyacente actual (de interés u objeto de estudio), se procede a plantear los objetivos, medio ambiente y alcance del sistema nuevo y del proyecto que lo desarrollará.

4. Establecimiento de las restricciones que deben cumplir las posibles soluciones.

La solución a un problema se encuentra sujeta a algunas restricciones o limitaciones. A causa de las restricciones identificadas, es frecuente que se requiera modificar el objetivo definido en el paso anterior. Esto es lógico debido a la relación que hay entre el cumplimiento de un objetivo y los medios o recursos disponibles para ello.

5. Búsqueda de información pertinente.

La información es indispensable en el desarrollo de cualquiera de las etapas del proceso de diseño, sin información adecuada no es posible tomar decisiones.

DISEÑO DE LOS SISTEMAS ALTERNATIVOS

6. Establecimiento de criterios para escoger la mejor solución.

La selección de la mejor solución debe realizarse de acuerdo con determinados criterios que señalan a una de ellas como la mejor dentro de ese contexto de comparación.

7. Generación de sistemas alternativos.

Mientras más soluciones se planteen inicialmente, mayor será la probabilidad de encontrar la mejor. Los sistemas pueden diseñarse utilizando descripciones narrativas que pueden acompañarse de modelos de funcionamiento a cierto nivel de detalle.

8. Análisis y descarte de los sistemas alternativos no viables.
A cada una de las soluciones generadas en el paso anterior se le aplican diversos tamices para confirmar si cumplen con los criterios de solución. Aquellas que no pasan los controles son rechazadas y solamente se dejan las que de alguna manera podrían llegar a ser soluciones viables al problema planteado.
9. Selección del mejor sistema alternativo.
Uno de los métodos de selección es maximizar una determinada función objetivo que depende de criterios ponderados que se establecieron en uno de los pasos iniciales. La solución que obtenga el mayor puntaje es la elegida como la mejor.

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA NUEVO

10. Definición del sistema nuevo.
El sistema alternativo escogido se describe desde un punto de vista físico (incluida la tecnología), es decir, en términos de cómo se implantará (modelo de funcionamiento) a un nivel suficiente de detalle.
11. Construcción del sistema nuevo
Los procedimientos, normas, y tecnología que habrán de cumplirse y utilizarse en el nuevo sistema, se especifican en términos de quién (hay al menos tres niveles: los desarrolladores, los operadores, y los usuarios del sistema), cuándo, cómo y dónde. El modelo funcional del sistema se elabora a un nivel suficiente de detalle, abarcando todas las actividades que se realizarán. El modelo se prueba a fin de garantizar que funciona de un modo adecuado.
12. Comunicación escrita sobre la solución escogida.
La especificación del nuevo sistema se documenta por escrito u oralmente, así como todo el proceso seguido hasta la solución de la problemática.

IMPLANTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA NUEVO

13. Capacitación del personal
El personal que operará el nuevo sistema, se entrena individualmente o colectivamente, utilizando diversas técnicas como charlas, talleres, seminarios, etc. La base para el entrenamiento lo constituye la documentación que se ha preparado del sistema a nivel de operarios. El personal usuario del sistema también se entrena en el uso del mismo, a través de panfletos, campañas de concientización, etc.
14. Inicio de operaciones del sistema
Existen numerosas estrategias para poner en funcionamiento el nuevo sistema o fragmentos del mismo. El nuevo sistema puede ponerse en operación: a) de un todo o servicio total, b) en paralelo, coexistiendo partes del sistema anterior con partes del sistema nuevo, c) por puestos, implantando el nuevo sistema en algún puesto o lugar geográfico, para luego ser extendido a las restantes zonas geográficas, o d) por etapas, introduciendo versiones sucesivas y progresivas del nuevo sistema.

15. Evaluación y ajustes del sistema

La evaluación puede hacerse a dos niveles: a) el sistema operativo que se ha desarrollado, y b) los procedimientos de desarrollo (implementación e implantación) de sistemas. Una vez obtenidas las opiniones de los desarrolladores, operarios y usuarios del sistema, se hace una valoración del rendimiento del sistema, se aprende a dónde incluir mejoras.

LA SOLUCIÓN

El desarrollo de una solución se efectuará en base a la aplicación de una metodología de sistemas, que por definición utiliza un enfoque integral, el cual conjuga dos aspectos: una perspectiva interdisciplinaria y una visión del todo y no las partes. Las actividades metodológicas son las que se derivan del objetivo del sistema nuevo correspondiente al caso de estudio.

ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

1. Formación del equipo interdisciplinario

En la provincia de Samaná, donde se encuentra El Salto El Limón, se ha creado un Centro de Eco desarrollo de la Bahía de Samaná y su Entorno (CEBSE) a fin de dinamizar el ecoturismo en los distintos sitios de la provincia que tienen un atractivo natural, en el contexto del desarrollo sustentable. El CEBSE es un ente canalizador, que trabaja con la mayor transparencia y pluralidad, incorporando las diferentes ideas de la comunidad local donde se encuentra el atractivo ecoturístico, vía los representantes de la sociedad civil. El CEBSE elabora formalmente las propuestas de solución y selecciona la mejor de ellas, para presentarla ante el Estado, a fin de que éste revise que la misma cumpla con la normativa vigente y de su aprobación. Es así, como en el caso del Salto El Limón, el CEBSE una vez oídas las opiniones de la comunidad del salto, en relación a ofertar el mismo al ecoturista; elaborará un proyecto de ecoturismo sostenible, el cual expondrá ante el Departamento de Ecoturismo y Medio ambiente (DEM) de la SEcRetaría de TURismo (SECTUR) del Estado. El DEM de la SECTUR, está comprometido por decreto presidencial del año 1996, a contribuir en la elevación de la producción y productividad, a disminuir la pobreza, a promover la equidad, a propiciar un medio ambiente saludable y fortalecer una posición en el marco regional e internacional. Este departamento firmó un convenio de cooperación con la ONG y el Banco Mundial para el desarrollo del ecoturismo.

(Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/participi.htm>.)

El CEBSE promueve el Desarrollo Sustentable como la alternativa para lograr un desarrollo armónico entre el hombre y la naturaleza. Esto se logra, única y exclusivamente dando respuesta a los tres indicadores del desarrollo sostenible (según se vio en el marco teórico): ambientales, socioeconómicos y culturales. Es por ello, que supondremos que el CEBSE está conformado por un equipo interdisciplinario: ecólogos, sociólogos, economistas e ingenieros de sistemas, que analizan las múltiples iniciativas del ecoturismo sostenible. Los aspectos que consideran los tres primeros, están directamente asociados a los indicadores enunciados. El ingeniero de sistemas estará comprometido con la integración de esos factores y la visualización del Todo y no las partes.

2. Definición del sistema actual

Los procesos que se efectúan en un sistema pueden modelarse desde dos perspectivas: una conceptual o de ¿Qué hace el sistema? (los "Qués"), y otra, de funcionamiento o de ¿Cómo lo hace el sistema? (los "Cómos"). El *modelo conceptual* constituye la base sobre la cual puede definirse la forma en que el sistema funcionará. El contenido del modelo conceptual, está dado exclusivamente, por la naturaleza del sistema que representa y su estructura está definida por las relaciones entre los procesos que conforman dicho sistema. Un *modelo de funcionamiento* a diferencia del modelo conceptual, contiene indicaciones acerca de quién, cuándo y cómo se efectúa cada uno de los procesos y actividades contenidos en el modelo conceptual (Fábregas, J. (1991)). Los modelos de procesos conceptual (denominado esencial, por el autor, y por otros, lógico) y de funcionamiento (denominado de implantación, por el autor, y por otros, tecnológico o físico) son graduales, es decir, comienzan presentado una visión general de los procesos del sistema y luego, van desglosando los procesos en sucesivos niveles de detalle. El *modelo de contexto* contiene un sólo proceso (el del sistema total) y define el ámbito del sistema y del proyecto (cuando se trata del sistema nuevo), el cual está siempre sujeto a cambios (debido a las restricciones como tiempo, dinero y otras). Los *modelos de detalles* dividen sucesivamente, el sistema en los subsistemas, y estos, en procesos y actividades, hasta finalizar con las actividades atómicas o indivisibles. Algunos analistas realizan modelos de detalles del modelo de funcionamiento del sistema actual, en un intento por obtener un mayor conocimiento sobre el mismo y los problemas que se le asocian. Esto se desaconseja en la actualidad, porque primero, consume mucho tiempo, y además, el analista se contamina con la forma cómo trabaja el sistema actual, lo cual produce un sesgo al momento de plantearse los sistemas alternativos (Whitten, J. y Bentley, L. y Barlow, V. (1997)). Por otra parte, independientemente de la naturaleza del sistema, el modelo conceptual del sistema actual es igual o muy similar al del sistema nuevo, debido a que en el modelo conceptual se revela la sustancia del sistema (Qué se hace). El modelo de funcionamiento del sistema actual y del sistema nuevo, serán diferentes, porque reflejan la forma Cómo se realizan los procesos y actividades.

Aún cuando, los procesos y actividades ecoturísticas en el salto, vienen desarrollándose en forma improvisada, si existe un sistema actual, que tiene simplemente por objetivo, vincular al visitante con la naturaleza. El medio ambiente lo conforman los visitantes con intenciones naturalistas.

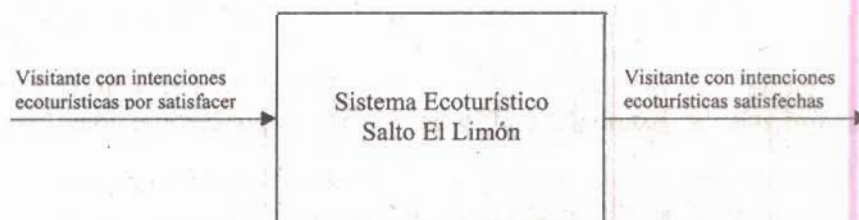


Fig. A. Modelo conceptual de contexto del "Sistema Ecoturístico Actual en el Salto El Limón".

El sistema actual consta de tres subsistemas, donde se realizan los procesos: ecológico, socio-cultural, y económico. Los componentes del sistema son los que se ponen en contacto con el visitante: a.1) la naturaleza, constituida por el paisaje, plantas y animales silvestres, y a.2) los lugareños y su manifestación cultural (pasada y presente). Los procesos (entradas, procesos, y salidas) asociados a los subsistemas, se efectúan así, respectivamente: b.1) entre el visitante naturalista y la naturaleza, cuando la estudia, admira y goza, b.2) el involucramiento activo del visitante con los lugareños, y los efectos sociales y culturales, y b.3) el involucramiento activo del visitante con los lugareños, y los efectos económicos.

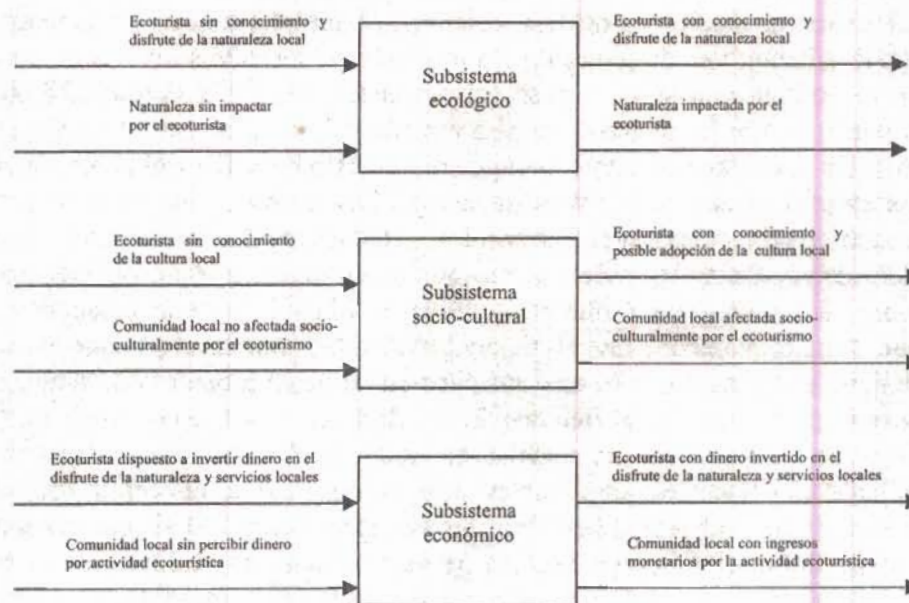


Fig. B. Subsistemas del "Sistema Ecoturístico Actual en el Salto El Limón".

Es importante, destacar una vez más, que en el modelo conceptual se reflejan "Qué" procesos y actividades se realizan, y no la forma o el "Cómo" se realizan. Fijémonos, que no se indica si la actividad ecoturística impacta positiva o negativamente a la naturaleza y a sus habitantes, simplemente, que efectivamente, si ocurre un impacto.

Por otra parte, nos ceñiremos a la posición adoptada por algunos analistas, en el sentido de no estudiar el funcionamiento del sistema actual, y así, no restringir la capacidad creativa en el diseño de soluciones.

Las interacciones entre los subsistemas, vienen dadas de la siguiente manera:

1) Entre los subsistemas ecológico y socio-cultural

- La naturaleza impactada por el ecoturista afecta a la sociedad o comunidad en su calidad de vida. Por ejemplo, la pureza o impureza del aire, del agua, etc.
- La comunidad podría adoptar conocimientos o hábitos del ecoturista sobre conservación o degradación del ambiente que afectarán a la biodiversidad local.

2) Entre los subsistemas ecológico y económico

- La naturaleza impactada por el ecoturista en forma positiva o negativa, tendrá consecuencias económicas favorables o desfavorables, aumentando o disminuyendo la actividad ecoturística en el salto.
- Los ingresos percibidos por la comunidad producto de la actividad ecoturística afectarán el ecosistema local, ya sea que se inviertan o no en beneficio de las áreas naturales.

3) Entre los subsistema socio-cultural y económico

- La posible absorción de nuevas formas de convivencias por la comunidad local, como por ej. patrones de trabajo, afectarán positiva o negativamente, la economía local.
- Los ingresos percibidos por la comunidad producto de la actividad ecoturística irán o no en detrimento de los hábitos de la comunidad, como por ej. tipos de consumo.

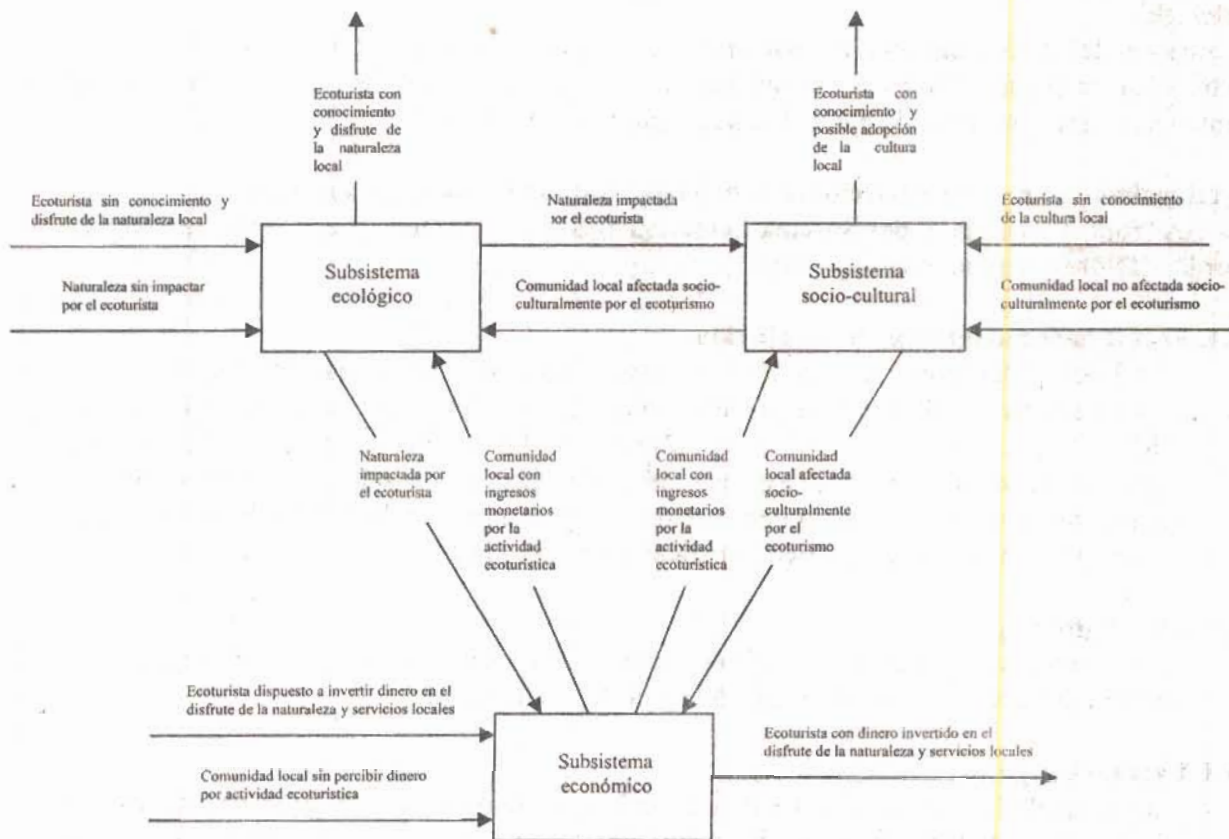


Fig. C. Modelo conceptual de detalle a nivel de subsistemas del "Sistema Ecoturístico Actual en el Salto El Limón".

3. Objetivos del sistema nuevo.

Para solventar la problemática del salto, se ha elaborado el proyecto "Implementación e implantación de un Sistema Ecoturístico Sustentable en el Salto El Limón", el cual, como su nombre lo indica, tiene como propósito construir y poner en funcionamiento un sistema ecoturístico en el salto el Limón dentro del marco del desarrollo sostenible:

- La sostenibilidad del ecoturismo desde los puntos de vista ambiental, económico y sociocultural.
- La participación y atribución de competencias a las comunidades locales y a los pueblos autóctonos en el proceso de desarrollo del ecoturismo, en la gestión y supervisión de las actividades ecoturísticas, y en la distribución de los beneficios que reporten.

El nuevo sistema tendrá como propósito garantizar que las actividades ecoturísticas del salto se realicen de la manera como fueron concebidas, es decir, que armonicen con el desarrollo sustentable.

El alcance del nuevo sistema es mantener en el salto, el compromiso entre la actividad ecoturística, la preservación del ecosistema local y la satisfacción de las necesidades de la comunidad rural, garantizando así la llamada "equidad generacional".

4. Establecimiento de las restricciones que deben cumplir las posibles soluciones.

El desarrollo y operación del Sistema Ecoturístico Salto El Limón se encuentra *restringida* por los factores: tiempo, dinero y Otros.

4.1. Factor ente moderador de la solución.

El CEBSE establecerá la capacidad de carga y otras normas de uso en el salto, la que será ejecutada y aplicada a su debido tiempo. La SECTUR, previa recomendación del CEBSE, es quién vigilará el cumplimiento de las macro-políticas del Estado, en cualquier desarrollo ecoturístico que se emprenda en el salto. Un récord de los ecoturistas que visiten el salto debe ser llevada y entregada a la SECTUR, a fin de que pueda elaborar las estadísticas ecoturísticas del país cada año.

4.2. Factor dinero.

El financiamiento para el desarrollo de una solución en las condiciones estipuladas, es factible de obtener, a través de las ONG y el Banco Mundial.

4.3. Factor tiempo.

La comunidad del salto, aspira a concretar el proyecto en un año. El proceso implicará la ejecución de las fases y actividades metodológicas (ver figura D) que estarán en función del objetivo que se persigue con el proyecto: un desarrollo ecoturístico sustentable en el Salto el Limón.

En el tiempo de ejecución de las actividades se observa que algunas se realizan en serie y otras en paralelo. Un ejemplo de una actividad en serie, es que primero, la comunidad esboza unas ideas para resolver la problemática y el aprovechamiento del salto, y luego, el CEBSE elabora las propuestas. Un ejemplo de una actividad en paralelo, es que antes de que se termine la construcción del sistema nuevo, se puede iniciar, la documentación (procedimientos y normas de uso) del sistema nuevo.

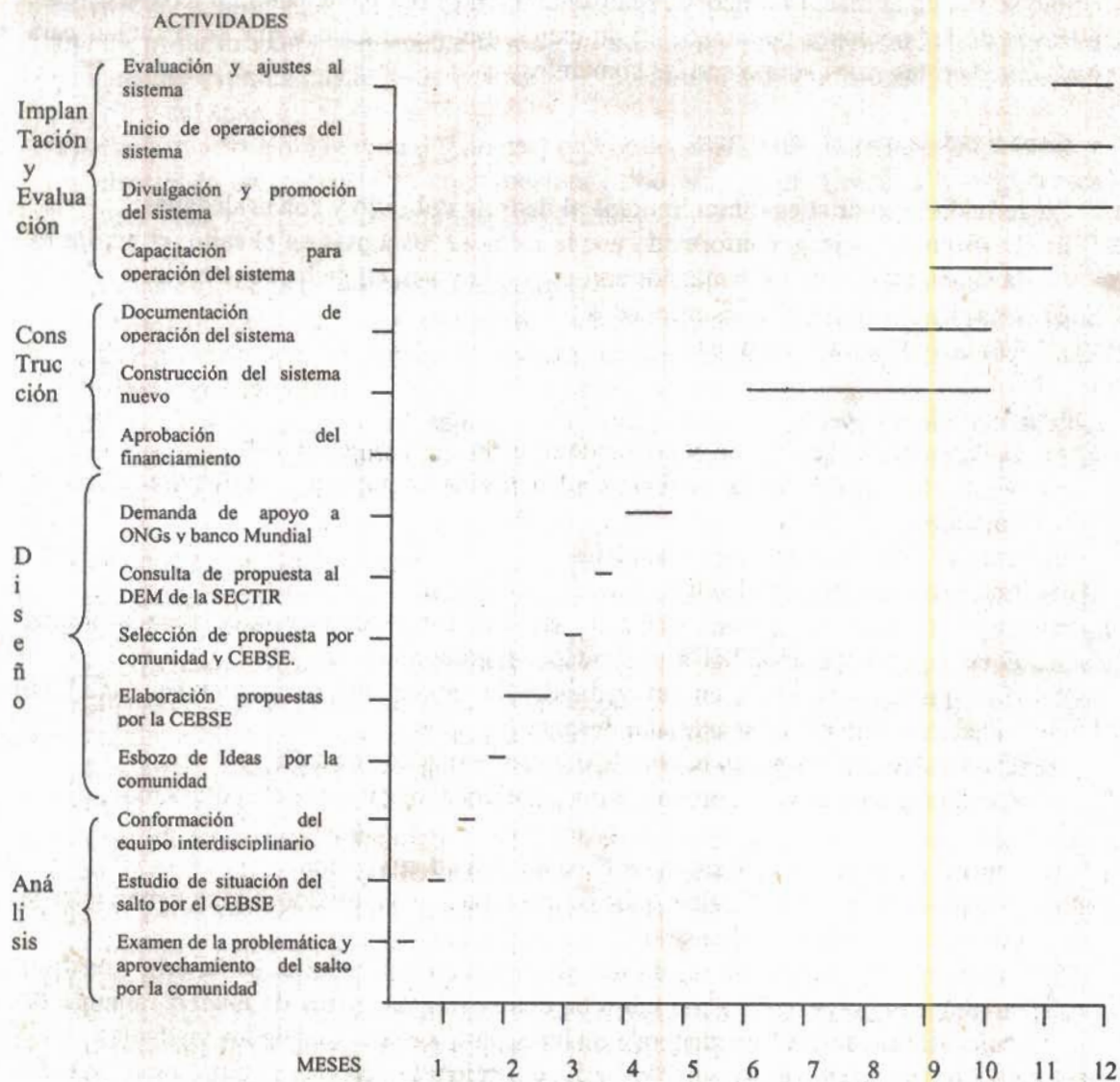


Fig. D. Tiempo de ejecución del proyecto "Implantación del Sistema Ecoturístico del Salto El Limón"

4.4. Otros factores restrictivos

Como se vió en el marco teórico, el control turístico (y por ende, ecoturístico) se efectúa a través de las nociones de capacidad de carga. Las restricciones que se manejan para cada una de estas capacidades son las siguientes:

- Capacidad de cargas ecológicas

La actividad ecoturística estará limitada al disfrute del salto y zonas aledañas:

- a) Disfrute del paisaje conformado por la caída de las aguas en el salto, el verdor de la vegetación, y de los pequeños animales que viven en dicha vegetación.
- b) Descanso bajo los árboles frondosos.
- c) Toma de fotos a la naturaleza.

El ecoturista no podrá:

- a) Bañarse ni en el río, ni en el pozo que se forma al finalizar el salto.
- b) Visitar los lugares donde se realiza a la actividad agropecuaria (siembras y cría de animales).
- c) Extraer especies vegetales y animales.
- d) Escalar por la pared del salto.
- e) Usar el suelo de la zona del salto de una forma improvisada, para acampar, cocinar, botar basura o hacer necesidades fisiológicas.
- f) Transportarse al salto, en un vehículo de motor (carro, motocicleta, etc.), ni bicicletas, sino tracción animal o desplazarse a pie.
- g) Descender al salto, en un medio de transporte que no sea a pie.
- h) Campañas educativas sobre impactos positivos y negativos del ecoturismo.

La conservación de la ecología el salto, se logrará además por:

- i) El camino que lleva al salto, debe estar en buenas condiciones y se debe evitar la formación de lodo en el mismo.
- j) Al tramo del camino inclinado que desciende hacia el salto, se le debe construir escalones tipo terraplén, con muro de contención de trozos de madera, además de colocarle pasamanos de madera a un lado, para la seguridad de los visitantes.
- k) El camino que sube a lo alto del salto, ubicado a la derecha en posición de subida, debe ser anulado, dada su inclinación y los efectos de erosión que genera.
- l) Una campaña de reforestación en toda la cuenca, especialmente en la zona del nacimiento y del salto se debe realizar, dado el proceso acelerado de pérdida de agua del río, y por ende del salto, como consecuencia de la deforestación.
- m) Las condiciones alimenticias y sanitarias de los animales usados para transportar turistas al salto, deben ser buenas o excelentes.
- n) La energía que se utilizará para el alumbrado y la preparación de alimentos no comprometerá las fuentes madereras.
- o) La descarga de la basura y excrementos se realizará en lo posible a través de medios no contaminantes.

- Capacidad de cargas del espacio
 - a) Las siembras y crías de ganado deberán mantenerse como hasta ahora, a una distancia prudencial de las construcciones, del río y el salto.
 - b) La infraestructura permanente tanto para uso de los pobladores locales como para atender eventualmente a los visitantes se construirá a una distancia prudencial del río y del salto.
 - c) La infraestructura temporal (paradas) que se levantara en el camino que asciende y desciende del salto, serán construcciones tipo kiosko, para prestar los siguientes servicios: c.1) primeros auxilios, c.2) sanitarios, y c.3) refrigerios.

- Capacidad de carga de las infraestructuras
 - a) La construcción de la infraestructura deberá utilizar en lo posible materiales que sean provistos por la misma naturaleza, como paredes de bahareques, techos de palma o similares, etc.
 - b) El reciclaje de aguas negras se hará por medio de plantas biológicas de tratamiento.
 - c) El tratamiento más efectivo de la basura se hará a través del establecimiento de la agricultura orgánica.

- Capacidad de cargas sociales
 - a) El número máximo de visitantes ecoturistas que se permitirá en el salto es de 20.000.
 - b) Los lugareños estarán involucrados con el ecoturista en las siguientes actividades: Hospedaje, servicios sanitarios, preparación de comidas, primeros auxilios, guías prácticos al salto, y comercio de artesanía.
 - c) Los guías prácticos autorizados deben ser los únicos en trasladar a los visitantes al salto.
 - d) Los guías prácticos responsables de llevar los turistas al salto deben someterse a un proceso de capacitación para que la SECTUR los carnetice.
 - e) Los guías prácticos (guías comunitarios) deben estar en condiciones presentables (limpios y con calzado) ante los visitantes.
 - f) Los niños y los jóvenes menores de edad que se dediquen a cualquier actividad ecoturística en el salto, deben realizarla en horario que no afecte su deber sagrado de asistir a la escuela a recibir el pan de la educación.
 - g) Los alimentos que se preparen y se sirvan a los ecoturistas deben cumplir normas de higiene y calidad.
 - h) Los precios de los servicios en general serán homogeneizados (un solo precio).

Fuente: <http://www.kiskeya-alternative.org/publica/bolivar/limon.htm>

5. Búsqueda de información pertinente.

La información requerida para la realización de las actividades metodológicas anteriores y siguientes, se obtuvo por búsqueda de información documental a través de Internet. No se recabó información de campo. La faltante se supuso en base a planteamientos de problemáticas y soluciones similares.

DISEÑO DE SISTEMAS ALTERNATIVOS

6. Establecimiento de criterios para escoger la mejor solución.

En las reuniones de trabajo que han efectuado entre el CEBSE y los representantes de la comunidad del salto, se han establecido algunos criterios para elegir el sistema alternativo más idóneo.

Criterios

- Facilidad de implementación del sistema

Es aconsejable que una vez iniciado el análisis de una situación dada, se vaya progresando de forma sostenida en la ejecución de las siguientes etapas de desarrollo del sistema. Una espera prolongada de tiempo sin avanzar, puede desanimar a los participantes del proyecto hasta el punto de abandonar el mismo.

- Financiamiento

Es preferible que el capital requerido para la construcción del nuevo sistema, se obtenga en el momento oportuno, porque de no ocurrir así, es posible que haya que sacrificar la calidad del diseño original. La satisfacción de algunos requerimientos podría postergarse, o en el mejor de los casos, tendrá que adecuarse a la situación. También es importante contar con disponibilidad de capital para mantener la mínima operatividad del sistema, como por ejemplo, en períodos no vacacionales.

- Adaptabilidad del sistema

Es recomendable que el sistema sea lo más flexible posible, para que se facilite su adaptación a cambios futuros. Un cambio podría darse en las relaciones (entre componentes o con el medio ambiente). Otro cambio podría ocurrir en los atributos de sus componentes, como sería en este caso, las capacidades de cargas.

- Calidad del servicio

Las condiciones en que se desarrolle la actividad ecoturística en el salto, alentarán o no al visitante a que desee regresar al salto, pudiendo convertirse además, en un ente propagandístico de las bondades del salto y amabilidad de sus pobladores.

Ponderación de los criterios

| Criterio | Ponderación |
|-------------------------------------|-------------|
| Financiamiento | 40% |
| Calidad del servicio | 30% |
| Adaptabilidad del sistema | 20% |
| Facilidad de desarrollo del sistema | 10% |

7. Generación de sistemas alternativos.

El equipo interdisciplinario del CEBSE una vez oídas las opiniones de los representantes civiles de la comunidad del salto, y de los representantes del DEM, le ha dado forma a dos posibles soluciones, las cuales cumplirán todas las restricciones impuestas a las mismas.

Sistema alternativo 1

• Creación de micro-operadoras

- Hospedaje
- Alimentación
- Transporte
- Vigilancia (del cumplimiento de las restricciones impuestas disfrute del salto).
- Comercio de artesanías
- Asistencia médica

El Estado será el propietario de las micro-operadoras y administrador de las mismas. El capital para el proyecto provendrá de fondos propios del Estado o por el financiamiento de las ONG y del Banco Mundial. La participación de la comunidad, estaría limitada a ser los operadores del sistema.

Se creará además una comisión disciplinaria mixta, conformada por oficiales del Estado, miembros del CEBSE y de la comunidad del salto. Esta comisión realizará un monitoreo periódico que tome en cuenta la información suministrada por la micro-operadora de vigilancia, para verificar el cumplimiento de las normas impuestas en el disfrute del salto y uso de las infraestructuras, por parte de los visitantes, los lugareños y las micro-operadoras. En los casos que procedan se dará cumplimiento a las sanciones a que hubiere lugar. Los recursos financieros para la operación de esta comisión provendrán de un eco-impuesto que cancelarán las micro-operadoras.

Sistema alternativo 2

• Creación de micro-empresas

Las micro-empresas serán las enumeradas en la propuesta anterior como micro-operadoras. El cambio de nombre en esta propuesta, se debe a que usan capital privado, ya sea fondos propios o financiamiento por las ONG y Banco Mundial. Los lugareños liderizarán el proyecto, con la cooperación del CEBSE y regulación del Estado.

La comisión disciplinaria tendrá la misma conformación, funciones y recursos financieros que la propuesta anterior.

8. Análisis y descarte de los sistemas alternativos no viables.

Las soluciones generadas en el paso anterior cumplirán con los criterios impuestos a la solución, por tanto, todas son soluciones viables.

9. Selección del mejor sistema alternativo.

El método de selección escogido es maximizar una función objetivo que depende de los criterios ponderados establecidos en el paso de establecimiento de criterios y su ponderación.

| | Financiamiento | Calidad del servicio | Adaptabilidad del sistema | Facilidad de desarrollo del sistema | Puntaje total |
|------------------|----------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Micro-empresas | 20/40 | 28/30 | 17/20 | 8/10 | 73 |
| Micro-operadoras | 30/40 | 20/30 | 12/20 | 5/10 | 67 |

La opción seleccionada es el desarrollo de micro-empresas.

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA NUEVO

10. Definición del sistema nuevo.

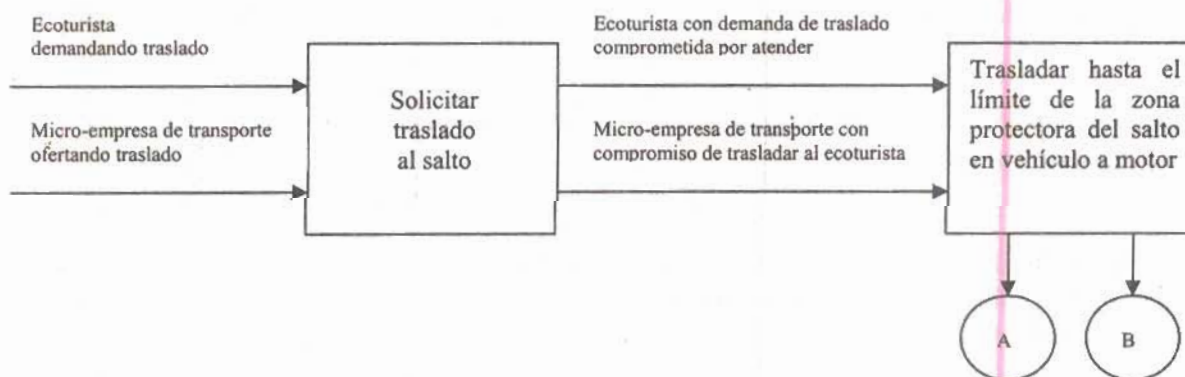
El modelo conceptual del sistema nuevo es similar al del sistema anterior, a excepción de: a) un subsistema de monitoreo y control (aún cuando, también se debió considerar en el sistema actual, a pesar de que no contaban con mecanismos apropiados para ejercer dicho control); y b) elementos del medio ambiente, como las micro-empresas proveedoras de servicios en el salto. Estas no son sustanciales para el ejercicio del ecoturismo en el salto.

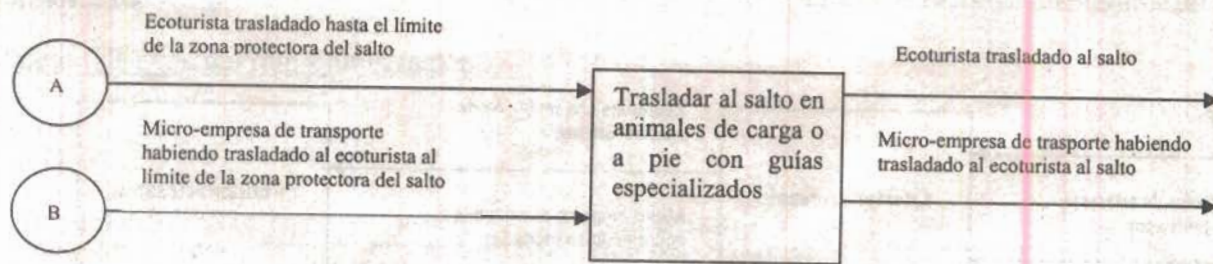
El modelo físico se presenta con un cierto nivel de detalle. Pueden expandirse aún más las actividades que se realizan en cada proceso, como por ejemplo: a) cómo realizar el ascenso y descenso al salto, b) cómo cada patrón, hábito o costumbre pueden afectarse, c) cómo las micro-empresas aplicarán correctivos para mejorar los elementos inherentes al ejercicio de su actividad económica, como vías de acceso, viviendas, etc.

Representación Física del sistema nuevo

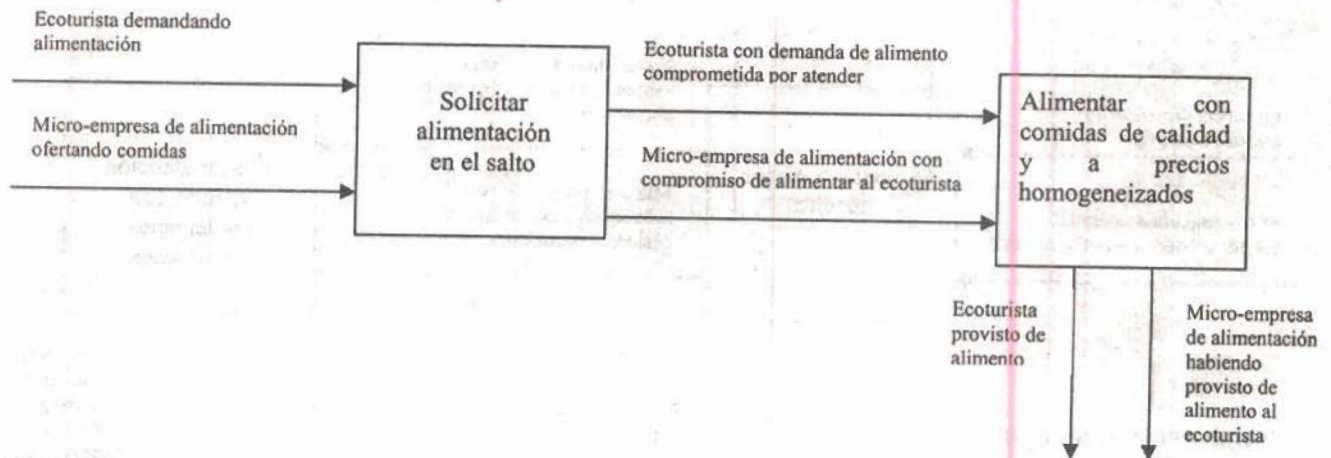
Subsistema económico

Proceso de transporte al ecoturista

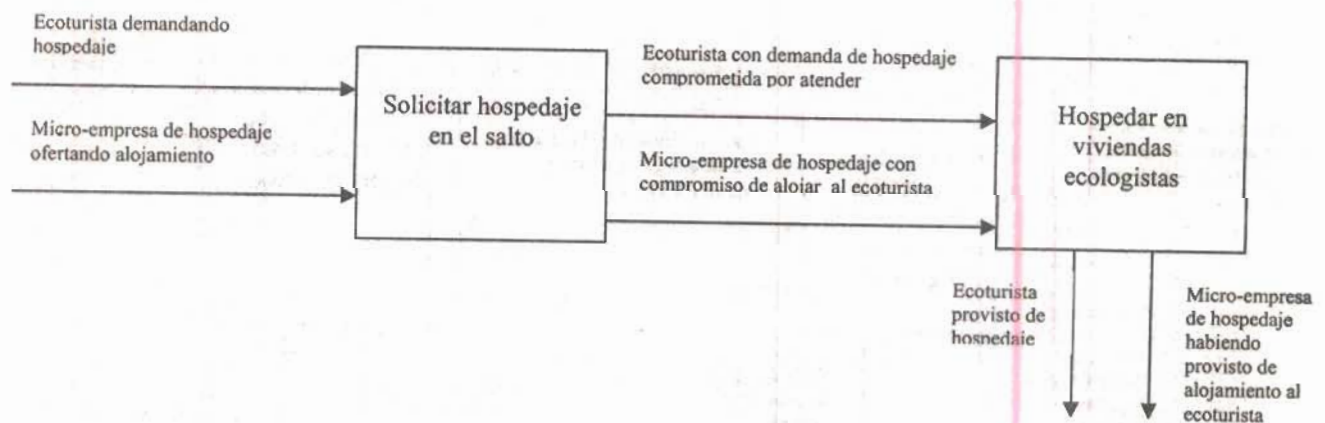




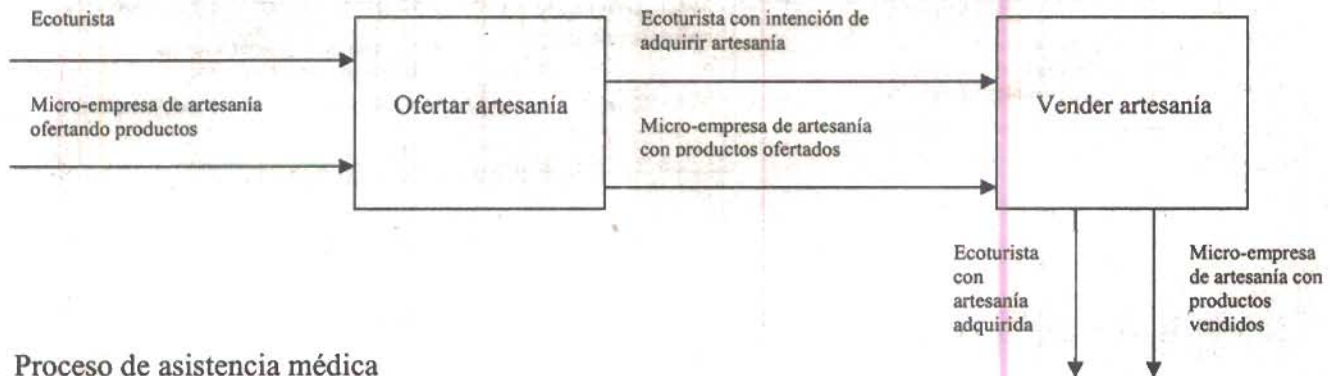
Proceso de alimentación al ecoturista



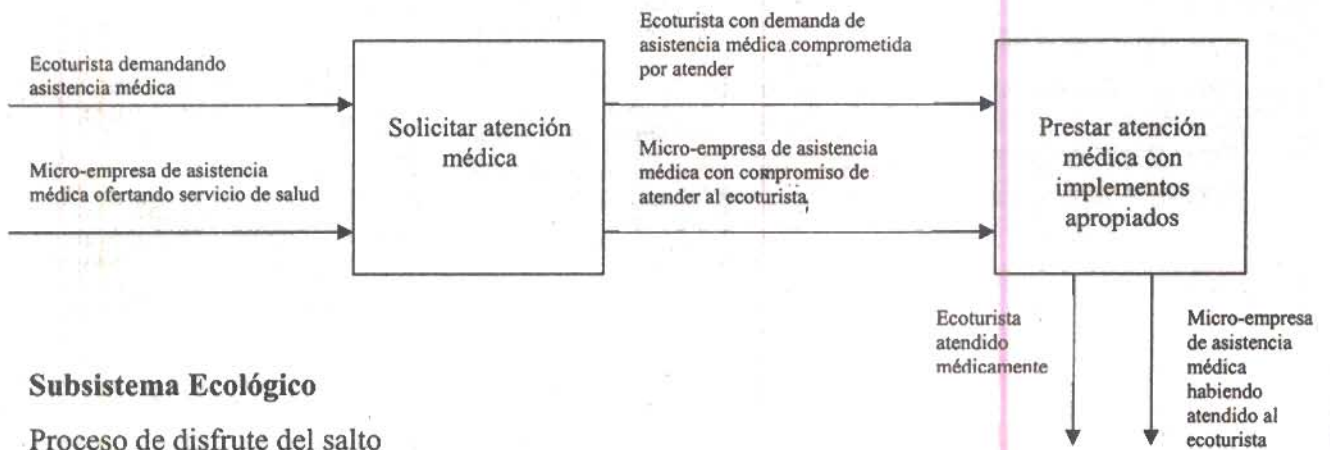
Proceso de hospedaje al ecoturista



Proceso de comercialización de artesanía

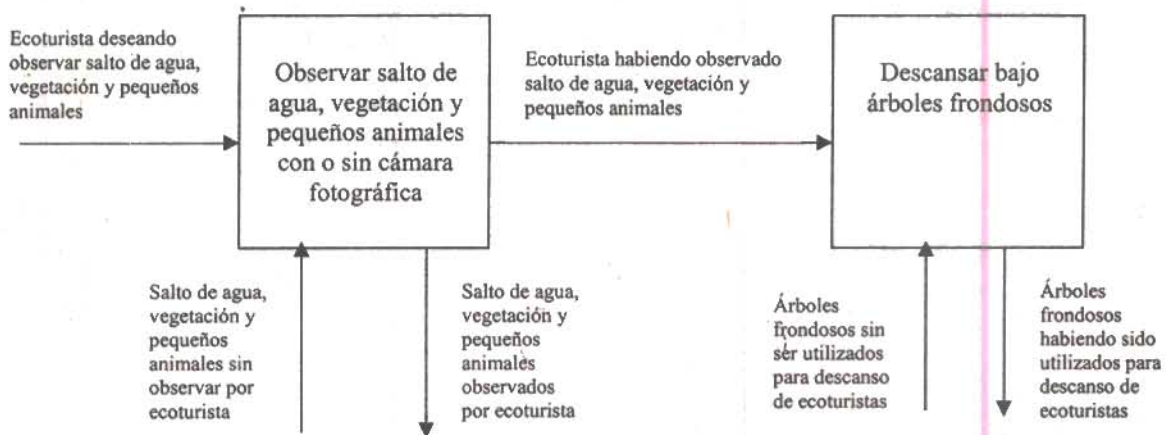


Proceso de asistencia médica



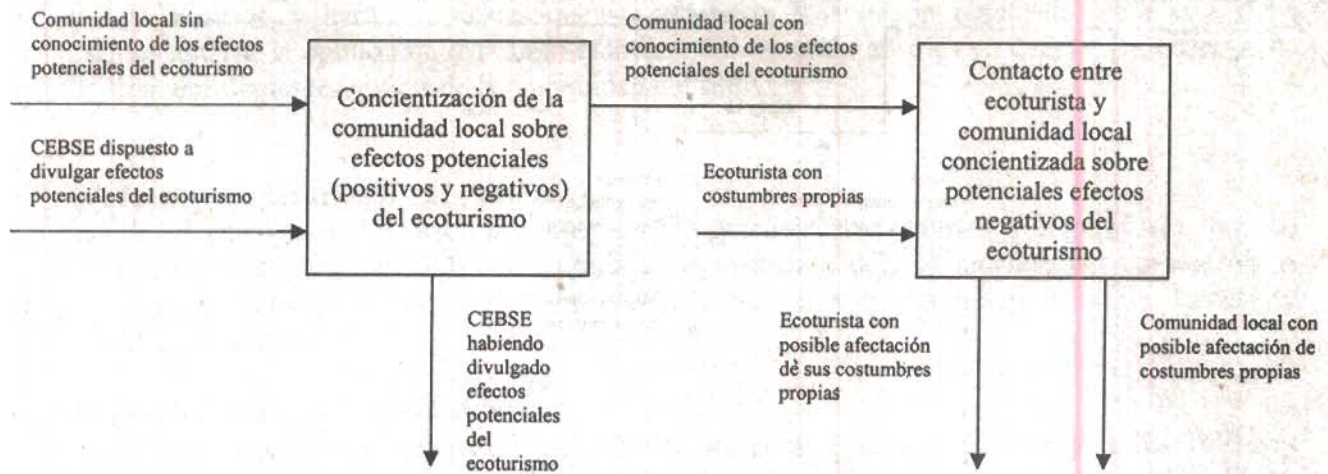
Subsistema Ecológico

Proceso de disfrute del salto



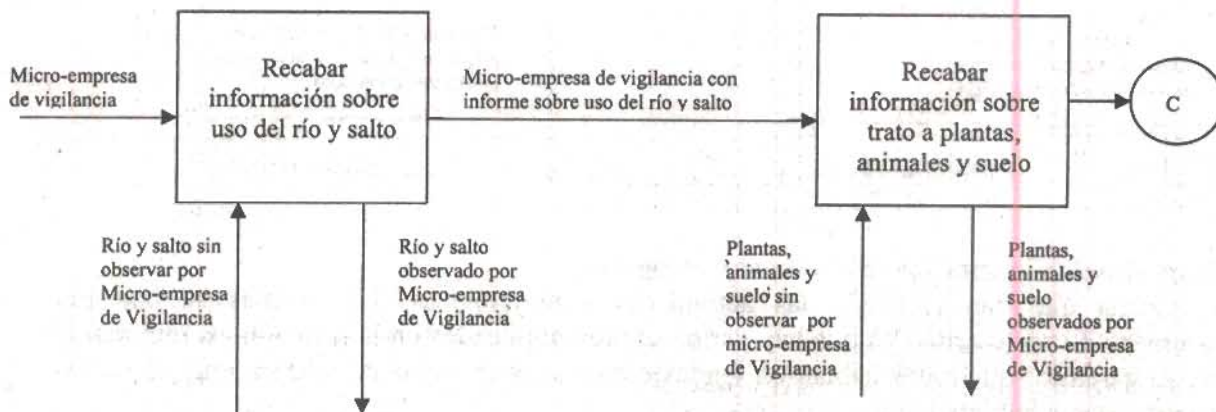
Subsistema Socio-cultural

Proceso de eventual transculturización

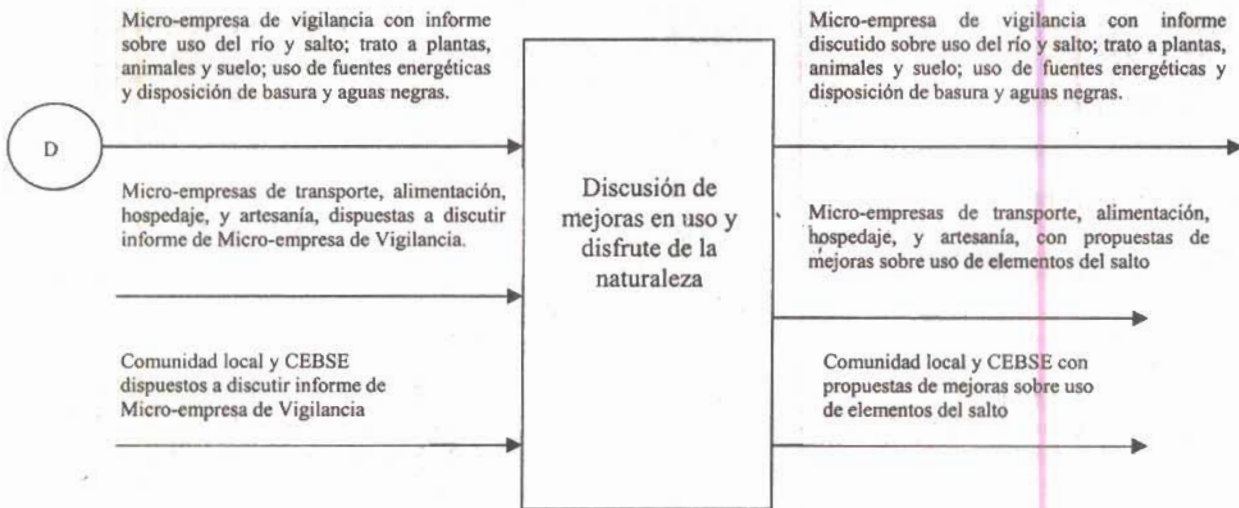


Subsistema de control

Proceso de Monitoreo y control



Proceso de Monitoreo y control (continuación)



11. Comunicación escrita sobre la solución escogida.

A medida que han realizado las actividades metodológicas, las mismas se han ido documentado por escrito. Ya que hay varios actores implicados en la solución, es importante que se garantice que todos hablan un lenguaje común, y expresar de manera muy clara, los acuerdos a que hubiere lugar.

IMPLANTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA NUEVO

12. Capacitación del personal

Aunque cada solución ecoturística tiene características particulares, pueden tomarse en cuenta, los procedimientos generales de operación y adiestramiento del personal operario y usuario que la SECTUR ha diseñado en otros desarrollos ecoturísticos. El CEBSE estudiará los mismos, y hará los ajustes que se adapten a la solución planteada. Para ello, debe consultarse la opinión de los micro-empresarios, tomando además en cuenta, los criterios de los representantes civiles de la comunidad del salto.

13. Inicio de operaciones del sistema

En el caso del salto, los micro-empresarios y entes moderadores y reguladores, pueden acordar cualquier modalidad de implantación, menos la de implantación por puestos, ya el salto es único, es decir, no tiene réplicas en otras zonas geográficas de República Dominicana.

14. Evaluación y ajustes del sistema

A pesar, que el auge del ecoturismo en Dominicana es reciente, el CEBSE y la SECTUR han copiado procedimientos de monitoreo de las capacidades de cargas que han sido utilizados en el extranjero. Actualmente, están trabajando en la tropicalización de los mismos, a partir de las recientes experiencias obtenidas en otros lugares de Dominicana.

Con este ejercicio realizado, hemos finalizado esta unidad 5.

SELECCIÓN DE LECTURAS

- | | |
|---------------------|--|
| Lectura 1.1 | ¿Qué es un sistema? |
| Lectura 1.2 | Sinergia |
| Lectura 1.3 | Emergencia |
| Lectura 1.4 | Recursividad |
| Lectura 1.5 | Subsistema |
| Lectura 1.6 | Estabilidad y efecto palanca |
| Lectura 1.7 | Sistemas simples y complejos |
| Lectura 1.8 | Pensamiento en círculos |
| Lectura 2.1. | Razonamiento |
| Lectura 2.2 | Características del enfoque de sistema |
| Lectura 2.3 | Enfoque Vs Técnicas |
| Lectura 2.4 | Etapas desconocidas |
| Lectura 2.5 | Razonamiento (continuación) |
| Lectura 2.6 | La conceptualización de un sistema |
| Lectura 5.1 | Criterios y restricciones |
| Lectura 5.2 | Definición del problema |
| Lectura 5.3 | Generación de posibles soluciones |
| Lectura 5.4 | Selección de la mejor solución |

INTRODUCCIÓN AL
PENSAMIENTO SISTÉMICO
*Recursos esenciales para la creatividad
y la resolución de problemas*
Joseph O'Connor e Ian McDermott
Ediciones Urano

PRIMERA PARTE

**Mas allá de lo obvio
con el pensamiento**

1.- ¿Qué es un sistema?

Con una sola llama es posible encender un millón de velas.

Este libro es una introducción al pensamiento sistémico: qué son los sistemas, sus ideas clave, cómo pensar en ellos y por qué son importantes. ¿Qué entendemos por «sistema»? En este libro utilizamos el término en su sentido cotidiano, intuitivo:

Un sistema es una entidad cuya existencia y funciones se mantienen como un todo por la interacción de sus partes.

El pensamiento sistémico contempla el todo y las partes, así como las conexiones entre las partes, y estudia el todo para poder comprender las partes. Es lo opuesto al reduccionismo, es decir, la idea de que algo es simplemente la suma de sus partes. Una serie de partes que no están conectadas no es un sistema, es sencillamente un montón.

Introducción al Pensamiento Sistémico

Un sistema

Partes interconectadas que funcionan como un todo.

Cambia si se quitan o añaden piezas. Si se divide un sistema en dos, no se consiguen dos sistemas más pequeños, sino un sistema defectuoso que probablemente no funcionará.

Un montón

Serie de partes.

Las propiedades esenciales no se alteran al quitar o añadir piezas. Cuando se divide, se consiguen dos montones más pequeños.

La disposición de las piezas es fundamental.

Las partes están conectadas y funcionan todas juntas.

Su comportamiento depende de la estructura global. Si se cambia la estructura, se modifica el comportamiento del sistema.

La disposición de las piezas no es importante.

Las partes no están conectadas y funcionan por separado.

Su comportamiento (si es que tiene alguno) depende de su tamaño o del número de piezas que haya en el montón.

Cuando se observan los patrones que conectan las partes y no sólo las partes se descubre un hecho singular. Sistemas formados por partes muy distintas y con funciones completamente diferentes pueden estar organizados en torno a las mismas reglas generales. Su comportamiento dependerá de cómo se conecten las partes, más que de cuáles sean esas partes. Así, será posible hacer predicciones acerca de su comportamiento sin tener un conocimiento detallado de las partes. Es posible comprender sistemas muy diferentes (el propio cuerpo, una empresa, la contabilidad personal o las relaciones) e influir sobre ellos utilizando los mismos principios. En vez de observar por separado áreas de conocimiento cuya comprensión requiere años de estudio, el pensamiento sistémico permite estudiar la conexión que existe entre las diversas disciplinas para predecir el comportamiento de los sistemas, ya se trate del sistema de la red ferroviaria, de un sistema de creencias, del aparato digestivo, de un equipo de gestión o de una campaña de marketing.

¿Por qué es tan importante el pensamiento sistémico? Porque, como hemos dicho anteriormente, cada persona es un sistema que vive en un mundo de sistemas. Todos vivimos inmersos en el complejo sistema de la naturaleza y formamos poblaciones y ciudades que funcionan también como sistemas. Tenemos sistemas mecánicos, como los ordenadores, los coches o las cadenas automatizadas de montaje y producción. Tenemos sistemas políticos, sistemas económicos y sistemas ideológicos. Cada uno de estos sistemas funciona como un todo en el que se combinan muchas partes distintas (otra cuestión es si el sistema funciona bien o mal). Los sistemas pueden ser simples, como el termostato de una calefacción central, o muy complejos, como el clima. En el momento actual, el complejo sistema de la naturaleza afronta problemas sin precedentes debido a los efectos de la contaminación y la tecnología. Dondequiera que miremos hay sistemas. Estudiamos como sistemas las moléculas, las células, las plantas y los animales. Los seres humanos estamos compuestos de células que, a su vez, forman sistemas orgánicos cuyo funcionamiento está controlado por el sistema nervioso. Todos pertenecemos a algún sistema familiar que, a su vez, forma parte de una comunidad local, la cual, unida a otras comunidades locales, forma parte de ciudades, regiones y naciones. En todos estos casos, se trata de sistemas que son subsistemas de otro sistema mayor. El planeta Tierra es también un sistema que forma parte del sistema solar, de la galaxia y, por último, del universo. Tal vez no utilicemos a menudo la palabra «sistema», pero los sistemas están presentes en todo lo que hacemos y, para ejercer una mayor influencia sobre ellos, para tener una mejor calidad de vida, debemos entender como funcionan.

2.1 Sinergia

Sin duda alguna, cuando ya se conoce lo que es sinergia, quizás la única conclusión a que se llegue es que su novedad está en la palabra, porque el concepto es conocido. En efecto, de acuerdo con nuestras informaciones, ya el concepto de Gestalt, importante idea de la escuela de los campos en psicología, desarrollada por Kurt Levin, implica la idea de sinergia. ¿Qué es sinergia? o ¿cuándo existe sinergia?: simplemente, cuando $2 + 2$ no son cuatro sino 5 u otra cifra. En otras palabras, cuando la suma de las partes es diferente del todo; cuando un objeto cumple con este principio o requisito decimos que posee o existe sinergia.

Pero existe otra explicación de sinergia que, creemos, resulta más clara y útil para nuestros propósitos. Nos referimos a aquella definición propuesta por el filósofo Fuller. Señala que un objeto posee sinergia cuando el examen de una o alguna de sus partes (incluso a cada una de sus partes), en forma aislada, no puede explicar o predecir la conducta del todo. Observamos esta definición a través de un ejemplo. Supóngase seis naranjas distribuidas en dos formas diferentes, como lo indica la figura 2.1

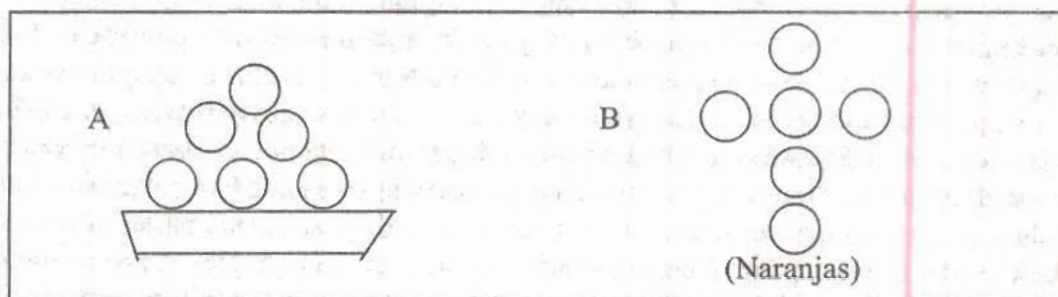


Figura 2.1

Evidentemente que en el caso A nos encontramos con una fuente que contiene naranjas, mientras que en caso B hemos dispuesto las naranjas de tal modo que forman una figura en particular; concretamente, una cruz. Ahora, pidámosle a una persona que examine una naranja del agrupamiento A y preguntémosle si es capaz de describir el conjunto. Esta persona tomará una naranja y al examinarla dirá que supone que las restantes tienen más o menos el mismo color, más o menos el mismo diámetro, que están maduras, etc. Y es posible que esta descripción, si la naranja escogida es representativa del resto, sea bastante acertada.

Pero ahora, pasémosle a esa misma persona una o dos naranjas de la segunda agrupación (B) y, suponiendo que no conoce la forma en que están dispuestas, le pidamos lo mismo que en el caso anterior. Seguramente lo más probable es que describa al conjunto en forma muy similar al caso anterior. Sin embargo, esta vez se equivocará. ¿Por qué? Simplemente porque el grupo B de naranjas es algo más que seis naranjas, es una organización, una configuración que implica ubicación y relación entre las partes. En este caso, evidentemente, no se da que el todo (la cruz de seis naranjas) sea igual a la suma de sus partes, como en el caso A. Este es un ejemplo típico de sinergia. Ejemplos abundan. Los espectadores en un estadio, aparentemente, son una totalidad en que la suma de ellos da esa totalidad. En efecto, nos basta con examinar tres o cuatro para predecir la conducta de los espectadores. Los ocupantes o pasajeros de un bus o un metro, en la mañana a una hora determinada, cuando viajan hacia su trabajo, también forman un conjunto sin ninguna relación entre ellos. Leerán, sentados o de pie, el diario o un libro, se levantarán y bajarán cuando lleguen a su destino, y así abandonarán al conjunto sin que éste sufra un cambio significativo.

Existen objetos que poseen como característica la existencia de sinergia y otros no. En general, a las totalidades desprovistas de sinergia podemos denominarlas conglomerados. En este sentido, un conglomerado (como la fuente de naranjas) se supone sin sinergia, es decir, que la suma de sus partes es igual al todo. Si observamos la diferencia entre un sistema y un conglomerado tendremos que concluir que ella reside en la existencia o no de relaciones o interacciones entre las partes (esto es en realidad lo que produce esa diferencia entre la suma de las partes y el todo-sinergia). Sin embargo, es probable que en este momento pueda surgir un físico que diga: "¡Alto!, en la fuente de naranjas existe interacción, hay vectores de fuerza que interactúan anulándose mutuamente" (permaneciendo así en equilibrio). En realidad, un psicólogo y un sociólogo podrán decir que hay interacción entre los espectadores en el estadio (puede que la presencia de uno haga reaccionar el inconsciente de otros). Por lo tanto, podemos llegar a la conclusión de que el conglomerado no existe en la realidad, que es sólo una construcción teórica. Sin embargo, el concepto de conglomerado, para ciertos efectos es una herramienta de análisis importante (aquí yace la base de nuestra estadística). Por esta razón, y para fines de investigación y estudio podríamos definir al conglomerado como un conjunto de objetos, de los cuales abstraemos ciertas características, es decir, eliminamos aquellos factores ajenos al estudio y luego observamos el comportamiento de las variables que nos interesan. Serán un conglomerado si las posibles relaciones que entre ellos se desarrollan no afectan la conducta de cada una de las partes. Así, los espectadores del estadio, para efectos de ciertos análisis, son un conglomerado (estudio de reacciones ante el partido); los pasajeros del bus son un conglomerado (para predecir su conducta como tales); las naranjas en la fuente lo son, en la medida que los vectores de fuerza se anulan y, por lo tanto, no modifican la conducta de cada una de las partes.

Antes de proseguir creemos conveniente discutir aquí el concepto de objeto. Si abrimos un diccionario y buscamos este término podremos leer: "Todo lo que puede ser materia de conocimiento o sensibilidad de parte del sujeto, incluso éste mismo" (RAE). "Cualquier cosa que se ofrece a la vista y afecta los sentidos" (LAROUSSE).

LECTURA 1.3

INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO SISTÉMICO

*Recursos esenciales para la creatividad
y la resolución de problemas*

Joseph O'Connor e Ian McDermott
Ediciones Urano

Emergencia: el remolino y el arco iris

De nuestra simple definición de sistema se infieren algunas implicaciones curiosas. En primer lugar, un sistema funciona como un todo, luego tiene propiedades distintas de las partes que lo componen. Estas propiedades se conocen con el nombre de propiedades emergentes, pues «emergen» del sistema mientras está en acción. Imaginemos cien dibujos ligeramente distintos de Mickey Mouse. No parece que susciten demasiado interés. Ahora bien, pasémoslos muy deprisa, uno detrás de otro, y veremos a Mickey en movimiento: ya tenemos un dibujo animado. Si las fotografías se diferencian en una progresión escalonada, el movimiento resultará también escalonado. Entonces diremos que el escalonamiento es una propiedad emergente.

Vivimos de forma cotidiana con las propiedades emergentes, por eso apenas las tenemos en cuenta. Sin embargo, muchas veces son impredecibles y sorprendentes. (Consideramos que la palabra más apropiada en este contexto sería «emergencia», y no el término más largo e incómodo de «propiedades emergentes»). Es una lástima que el uso de nuestra lengua prefiera «emergencia» para los sucesos, por lo general accidentes, que sobrevienen de forma inesperada).

Las propiedades emergentes sobresalen de los sistemas al igual que las imágenes tridimensionales que surgen de repente entre las franjas aleatorias de figuras geométricas coloreadas que hay en esos libros tan atractivos y exasperantes del «ojo mágico». No hay forma de predecir la imagen que saldrá de la geometría en que uno se encuentra inmerso. Ocurre lo mismo cuando observamos la corriente turbulenta de un río: el hecho de que sepamos mucho de la estructura molecular del agua no nos prepara para un remolino (ni tampoco a predecir que el agua es líquida). Uno puede estudiar durante años acústica y física de los sonidos sin por ello llegar ni a sospechar la belleza y el poder evocador de la música. Con los dos ojos no obtenemos una imagen más grande, sino una imagen tridimensional. Con los dos oídos no sólo oímos el doble de bien, tenemos la capacidad de oír en estéreo. Al combinar todos los colores del espectro cromático, no se obtiene luz de color marrón pardusco, sino luz blanca. Ciertamente no reparamos en ninguno de estos

milagros cotidianos, pero ¿habríamos sido capaces de predecirlos si no los conociéramos de antemano? Estas propiedades emergen al igual que la belleza del arco iris cuando la lluvia, la atmósfera y el ángulo del Sol se encuentran en la posición adecuada.

Nuestro cerebro parece deleitarse en la creación de estas propiedades emergentes. No olvidemos que somos parte del sistema y, por tanto, sin nosotros estas propiedades no existirían.

También la conciencia es una propiedad emergente. ¿Quién habría sido capaz de predecir que los billones de interconexiones de nuestro cerebro nos permitirían ser conscientes de nosotros mismos? Asimismo, todos nuestros sentidos son parte del conjunto de nuestro ser. Somos nosotros los que vemos, no los ojos. Si ponemos un ojo encima de una mesa, no verá nada. En ninguna parte de un organismo podremos encontrar el tacto, el olfato, el gusto, el sentido de la vista o el del oído. Nuestra vida depende del funcionamiento conjunto de las partes que nos forman. Cuando las partes están separadas del cuerpo, se mueren. Y los que se van al más allá no descubren el secreto de la vida, sino la muerte.

Otro ejemplo: el movimiento de un coche también es una propiedad emergente. Para desplazarse, un coche necesita el carburador y el depósito de gasolina, pero pongamos el carburador y el depósito en medio de la carretera y veremos los lejos que llegan

El equilibrio de la naturaleza es otra propiedad emergente. Las plantas, los animales y las condiciones climatológicas funcionan en combinación para crear un medio ambiente floreciente, aun cuando algunos animales de ese entorno sean presas de otros. Si perturbamos el medio ambiente, ese equilibrio corre el riesgo de romperse, algunas especies tal vez se extingan, otras se convertirán en dominantes, pero, al final, surgirá otro equilibrio.

En resumen:

Los sistemas tienen propiedades emergentes que no se encuentran en las partes que los componen. No se pueden predecir las propiedades de un sistema entero dividiéndolo y analizando sus partes.

Si descomponemos un sistema, no encontraremos sus propiedades en ninguna de las piezas resultantes. Estas propiedades sólo surgen cuando el sistema entero actúa. Sólo poniendo en funcionamiento el sistema podremos saber cuáles son sus propiedades emergentes.

Propiedades emergentes

He aquí una lista de propiedades emergentes. ¿Se le ocurre alguna otra?

- la vida
- los remolinos
- los tornados
- la temperatura
- la presión
- los «bugs» de los programas informáticos
- las emociones
- la música
- las composiciones del «ojo mágico»
- el arco iris
- la cultura
- las llamas
- la conciencia
- el espíritu de equipo
- las nubes
- la salud y el bienestar
- el hambre
- la risa
- los recuerdos
- los sueños
- el dolor

Una ventaja de las propiedades emergentes es que no hace falta comprender el sistema para beneficiarse de él. No es necesario saber electrónica para encender la luz ni saber de mecánica para conducir un coche. No hace falta comprender millones de líneas de un programa informático para jugar con el ordenador. ¿Sabe usted qué ocurre para que los gráficos aparezcan en el monitor de un ordenador? Joseph no había pensado nunca en esto hasta un día en que, nada más apagar el ordenador, su hija de ocho años le preguntó:

-Papá, ¿dónde se van los dibujos cuando apagas?

-No se van a ningún sitio, simplemente el ordenador deja de hacerlos.

-Pero, cuando los vuelves a encender, ¿cómo se acuerda de hacer exactamente los mismos dibujos?

-Se quedan almacenados en la memoria del ordenador.

-¿Qué? ¿Todos esos dibujos?

-No. Más bien se acuerda de cómo hacerlos cuando se lo volvemos a pedir.

-Y dónde está su memoria?

Joseph empezó a quedarse sin respuestas.

-El ordenador almacena cada dibujo como una serie de bits que marcan la posición exacta de todos los elementos. Así, luego puede reproducirlo entero cuando se lo pedimos.

-¿Dónde almacena los bits?

-En unos trocitos de plástico y de metal que tiene dentro y que se llaman chips.

-Si miras dentro de los chips, ¿se ven los dibujos?

Ya habían llegado a la barrera entre el mundo del silicio y el mundo de la visión.

-No. Son demasiado pequeños.

-¿Y no podemos verlos con una lupa?

-No, son series de bits, como una especie de puzzle que el ordenador vuelve a unir. Igual que cuando tú separas las piezas de un puzzle y después lo vuelves a hacer.

La niña no se quedó muy convencida, pero haberle explicado que los flujos eléctricos que se producen en el interior de un ordenador cuando aparecen los dibujos en el monitor son una propiedad emergente habría sido peor. Del mismo modo que no podemos desmontar un piano para buscar el sonido que produce, tampoco podemos abrir un ordenador y buscar dentro los dibujos.

También a los «bugs» informáticos podemos darles el apelativo cariñoso de «propiedades emergentes». ¿Le ha ocurrido alguna vez que el ordenador empiece a funcionar de forma extraña sin ninguna razón aparente al hacer algo había hecho antes miles de veces sin el menor problema? A nosotros sí. Parece como si el ordenador se estuviera confundiendo adrede, como si tuviera verdaderamente mala intención. Al poco de mecanografiar este texto, el ordenador decidió darnos una demostración «en directo»: el programa dejó de funcionar. No había modo alguno de escribir, borrar o guardar nada. Menos mal que habíamos hecho una copia de seguridad hacía unos minutos. Tras insultar al inerte montón de silicio, no hubo más remedio que apagar y volver a encender.

La segunda característica fundamental de los sistemas es la imagen especular de la primera. Dado que las propiedades de un sistema surgen del conjunto del sistema, y no de sus partes, si lo descomponemos perderemos sus propiedades. Si desmontamos un piano, por ejemplo, no sólo no encontramos el sonido, sino que será imposible producirlo hasta que no esté montado otra vez. No se puede encontrar el arco iris en la lluvia ni la imagen dentro del televisor. Si dividimos un sistema en dos no tendremos dos sistemas más pequeños, sino un sistema defectuoso o muerto.

Análisis es el nombre que damos a la separación de las partes de un todo para ver cómo funciona. Resulta un método muy útil para resolver cierto tipo de problemas o para saber los elementos o subsistemas de que se compone un sistema mayor. El *análisis sirve para conocer*. Sin embargo, no es posible comprender las propiedades de un sistema entero si lo descomponemos en las partes que lo forman.

El complementario del análisis es la síntesis: composición de un todo por la reunión de sus partes. La *síntesis sirve para comprender*. La única forma de saber cómo funciona un sistema y cuáles son sus propiedades emergentes es verlo en acción como un todo.

2.2. Recursividad

Podemos entender por recursividad el hecho de que un objeto sinérgico, un sistema, esté compuesto de partes con características tales que son a su vez objetos sinérgicos (sistemas). Hablamos entonces de sistemas y subsistemas. O, si queremos ser más extensos, de supersistemas, sistemas y subsistemas. Lo importante del caso, y que es lo esencial de la recursividad, es que cada uno de estos objetos, no importando su tamaño, tiene propiedades que lo convierten en una totalidad, es decir, en elemento independiente.

Teníamos un conjunto de 6 naranjas. Pero cada una de ellas era una totalidad en particular. Teníamos una población de hombres y mujeres, pero también cada uno es una totalidad particular.

Esto no significa que todos los elementos o partes de una totalidad sean totalidades a su vez. En el caso de las naranjas formando una cruz, cada naranja no forma una cruz. Luego no existe aquí la característica de recursividad en el sentido de que cada una de las partes del todo posee, a su vez, las características principales del todo.

Si tenemos un conjunto de elementos u objetos tales como una célula, un hombre, un grupo humano y una empresa, es posible que, a primera vista, no observemos entre ellos ninguna relación y los consideremos entidades independientes. Sin embargo, un rápido análisis nos puede llevar a la conclusión de que sí existen relaciones. El hombre es un conjunto de células y el grupo es un conjunto de hombres. Luego podemos establecer aquí una recursividad célula-hombre-grupo. Aún más, el hombre no es una suma de células ni el grupo es una suma de individuos, por lo tanto tenemos aquí elementos recursivos y sinérgicos (lo que no sucedía en el caso de las naranjas).

De todo esto se desprende que el concepto de recursividad se aplica a sistemas dentro de sistemas mayores, y a ciertas características particulares, más bien funciones o conductas propias de cada sistema, que son semejantes a la de los sistemas mayores.

Para colocar un ejemplo claro de recursividad, pensemos en una empresa como una totalidad y pensemos en sólo dos aspectos de ella, dirección y producción. Evidentemente,

la empresa posee un cuerpo de dirección (sus ejecutivos) y su centro de producción (un departamento bien identificado). Pero la empresa se divide en sus subgerencias y tenemos una de ellas, la de ventas, e imaginemos ahora a esta subgerencia como una "empresa" independiente. También posee una dirección (sus propios ejecutivos) y su centro de producción (la realización de las ventas). Pero la subgerencia de ventas se divide a su vez en varios departamentos. Uno de ellos es el de estudio de mercados. Aislémoslo como lo hicimos con la subgerencia de ventas. Podemos observar que posee dirección (su jefe y otros ejecutivos menores) y su aspecto de producción (los estudios y desarrollos del mercado). Nuevamente podemos dividir este departamento en secciones. Una de ellas es la de desarrollo de mercado que posee su propia dirección y su propia producción (por ejemplo, publicidad) y así podemos ir descendiendo hasta llegar al individuo. Este posee varios "sistemas", uno de los cuales es el sistema nervioso que posee su propia dirección (algunos centros cerebrales y la médula espinal) y su producción (movimiento de los músculos). Siguiendo aún más abajo llegamos a la célula, la neurona, por ejemplo, que posee su centro de dirección (el núcleo) y su producción (la emisión de ciertos impulsos eléctricos a través del axón). La ciencia biológica moderna nos puede conducir a seguir reduciéndonos cada vez más.

Todo esto nos indica una recursividad de diferentes sistemas, en los que se presentan en todos y cada uno (o se repiten) ciertas características básicas. Pero lo que hemos hecho aquí, ¿no es aplicar el método reduccionista, dividiendo a la empresa en sus diferentes partes? Aparentemente así ha sido, pero con una gran diferencia: teniendo en mente la idea de recursividad, analizamos las partes en función de un todo. Sabemos que la neurona es parte de un sistema superior, el sistema nervioso, y su conducta no la interpretamos a través de las características particulares de cada una de las neuronas para explicarnos el sistema nervioso como una sumatoria (tenemos conciencia de las características sinérgicas del sistema). Lo mismo hacemos con el hombre, la sección, el departamento, la subgerencia y, finalmente, la empresa.

La reducción (o ampliación de acuerdo al punto desde el cual observamos el problema) no consiste en sumar partes aisladas, sino integrar elementos que en sí son una totalidad dentro de una totalidad mayor. Sería, por ejemplo, como si quisiéramos estudiar un hogar formado por los padres y tres hijos, analizando a cada uno de ellos por separado y luego sumando los resultados o, lo que aún sería peor, si entrevistáramos al padre y luego extrapoláramos los resultados a todo el hogar o la familia. Evidentemente, aquí no existe recursividad.

Cada uno de los personajes es un sistema dentro de otro sistema mayor, pero resulta que aquella totalidad que denominamos familia u hogar no se repite en cada uno de los elementos que la componen. En otras palabras, la familia, dentro del criterio reduccionista, sería el elemento unitario o "último" o la unidad más pequeña de una totalidad superior (por ejemplo, una comunidad).

Podemos concluir, entonces, que existe recursividad entre objetos aparentemente independientes, pero que esta recursividad no se refiere a forma o, para expresarlo

gráficamente, a innumerables círculos concéntricos que parten de un punto (el círculo unitario) y a partir de ese centro vamos trazando con el compás círculos de radio cada vez mayor. No. La recursividad se presenta en torno a ciertas características particulares de diferentes elementos o totalidades de diferentes grados de complejidad.

En cierto modo, podemos señalar que aquí el problema consiste en definir de alguna manera las fronteras del sistema (que será un subsistema dentro de un supersistema mayor, de acuerdo con el concepto de recursividad). En otras palabras, en llegar a establecer una línea imaginaria que separe lo que pertenece al sistema de aquello que no le pertenece. Para llegar a una idea operacional respecto a la definición o delineación de un sistema podemos pensar en el concepto de individualidad.

L. von Bertalanffy⁴ se pregunta qué es un individuo y señala que con ello queremos significar un objeto que, espacial, temporal y dinámicamente, constituye algo distinto de todo otro ser de su misma categoría y que, como tal, pasa por un determinado ciclo vital. (P.53). Individuo significa indivisible, pero, como hemos visto más arriba, un sistema humano (el hombre) es posible dividirlo en otros sistemas (células); es, como señala von Bertalanffy, precisamente "dividuo" y se multiplica a través de la división.

Hablamos entonces de individuos (o sistemas) en el sentido de que, aunque formados por otros individuos, su agregación y desarrollo conducen a una creciente individualización en que las partes del organismo se vuelven cada vez más diferenciadas y menos independientes.

Así, un taxi, su chofer e incluso su pasajero forman un sistema, porque constituyen una individualidad. Evidentemente que el taxi por sí solo es un sistema (sistema cerrado); el chofer y el pasajero son individuos de otro tipo de sistema, pero los tres separadamente no forman el sistema taxi. Si agregamos al policía del tráfico, a otros vehículos de movilización colectiva y de carga, una calle, árboles y casas, podemos sumarlo, reunirlos todo y formar otro sistema, pero este sistema tampoco será un sistema taxi, será algo mayor, y quizá, desde cierto punto de vista de análisis, el taxi pase a ser un subsistema.

Como conclusión, podemos señalar que los sistemas consisten en individualidades; por lo tanto, son indivisibles como sistemas. Poseen partes y subsistemas, pero estos son ya otras individualidades. Pueden formar parte del sistema, pero no son del sistema que deseamos o buscamos. Para encontrarlo, debemos reunir aquellas partes y aquellos subsistemas y eliminar las otras partes y subsistemas que están de más, o pertenecen a otro sistema o, por no tener relación directa con nuestro sistema, sus comportamientos no lo afectan.

En este sentido, el concepto de recursividad va de "individuo" en "individuo", destacándose una jerarquía de complejidad, ya sea en forma ascendente como en forma descendente.

⁴ L. von Bertalanffy, "Concepción Biológica del Cosmos" (Santiago, Ed. de la Univ. de Chile 1963), pp.53-55

LECTURA 1.5

INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS Oscar Johasen Bertoglio Editorial Limusa

3.3 Subsistema

Si observamos con más cuidado las partes de un sistema, ya sea éste el grupo de trabajo, el conjunto de estrellas, el cuerpo humano, la arena en la playa, podemos observar que cada una de ellas posee sus propias características y condiciones. Así, por ejemplo, si volvemos a nuestro grupo de Investigación de Operaciones, podemos observar que las partes del sistema, sus miembros o participantes poseen sus propias condiciones corporales, hábitos, procesos biológicos, esperanzas y temores, que pueden ser muy diferentes de aquellos de los otros integrantes del grupo. Lo mismo es verdad en un sistema matrimonial, en que, a pesar de que la esposa y el esposo declaran que los dos serán uno en el matrimonio, permanecen como dos individuos que comparten intereses comunes. Los astrónomos saben perfectamente que las estrellas componentes de cierta nebulosa poseen características y cualidades que las hacen diferentes de las estrellas de otra nebulosa.

En general, podemos señalar que cada una de las partes que encierra un sistema puede ser considerada como subsistema, es decir, un conjunto de partes e interrelaciones que se encuentran, estructuralmente y funcionalmente, dentro de un sistema mayor y que posee sus propias características. Así los subsistemas son sistemas más pequeños dentro de sistemas mayores.

Sin embargo, el asunto no termina aquí, pues el departamento de Investigación de Operaciones, la playa de arena, el matrimonio y la nebulosa pertenecen a su vez a un sistema mayor (la empresa, el continente, la comunidad, el universo). Es decir, ellos son a su vez, subsistemas de un sistema mayor o supersistema.

Los conceptos de subsistema, sistema y supersistema llevan implícita la idea de recursividad, por cuanto los subsistemas y los supersistemas son además, sistemas. En este sentido, las propiedades generales de los tres elementos son semejantes y fácilmente se pueden encontrar o derivar analogías y homologías. Por ejemplo, los subsistemas de una empresa pueden ser sus diferentes áreas funcionales y el supersistema puede ser la comunidad o la región en la cual desarrolla sus actividades, su entorno. Lo mismo sucede con el hombre como sistema, con sus órganos como subsistema (o las células) y el grupo como supersistema.

Sin embargo, es fácil caer en error cuando buscamos identificar los subsistemas de un sistema, porque no todas sus partes componentes pueden considerarse subsistemas, si es que queremos respetar el principio de la recursividad. Por ejemplo, el corazón o el aparato

nervioso pueden ser subsistemas del hombre, pero no la uña del dedo pulgar. En una empresa puede que una función no cumpla con los requisitos para ser considerada un subsistema, por ejemplo, el chofer de un camión, o del auto del gerente. Lo mismo es aplicable a los supersistemas.

De esto se deduce que tanto los subsistemas como los supersistemas requieren cumplir ciertas *características sistémicas*. Hasta donde alcanza nuestro conocimiento, este punto es bastante discutido y no parecen existir principios generales que determinen cuando una parte es subsistema o simplemente un componente de un sistema.

No obstante, se pueden deducir algunos criterios. El principio de la recursividad ya nos indica algo. Lo que es aplicable al sistema lo es para el super y el subsistema. S. Beer¹ señala que en el caso de los sistemas viables, éstos están contenidos en supersistemas viables. En otras palabras, la viabilidad es un criterio para determinar si una parte es o no un sistema y entendemos por viabilidad la capacidad de sobrevivencia y adaptación de un sistema en un medio en cambio. Evidentemente, el medio de un subsistema será el sistema o gran parte de él.

Otro criterio que se puede aplicar a este problema es el de los subsistemas funcionales de Katz y Kahn². Estos autores han desarrollado un modelo funcional de los sistemas dinámicos abiertos (vivos). En efecto, ellos distinguen cinco funciones que debe cumplir todo sistema viable. Ellas son: 1) las funciones (o subsistemas) de producción, cuya función es la transformación de las corrientes de entrada del sistema en el bien y/o servicio que caracteriza al sistema y su objetivo es la eficiencia técnica; 2) las funciones de apoyo, que buscan proveer, desde el medio, al subsistema de producción con aquellos elementos necesarios para esa transformación; luego son encargadas de la exportación del bien y/o servicio en el medio con el fin de recuperar o regenerar las corrientes de entrada, y, finalmente, son las encargadas de lograr que el medio "acepte" o "legalice" la existencia misma del sistema. En concreto, su objetivo es la manipulación del medio; 3) las funciones o subsistemas de mantención, encargadas de lograr que las partes del sistema permanezcan dentro del sistema; 4) los subsistemas de adaptación, que buscan llevar a cabo los cambios necesarios para sobrevivir en un medio en cambio y, finalmente; 5) el sistema de dirección encargado de coordinar las actividades de cada uno de los restantes subsistemas y tomar decisiones en los momentos en que aparece necesaria una elección.

Así, en el caso de una empresa podemos distinguir fácilmente cada uno de estos subsistemas; *Producción* en el taller o planta; *Apoyo* en las adquisiciones, venta y Relaciones Públicas; *Mantención* es la función de Relaciones Industriales, *Adaptación* la encontramos en estudios de Mercados, Capacitación, Investigación y Desarrollo, etc. y, finalmente, la *Dirección* en la Alta Gerencia y, en general, en toda la línea ejecutiva.

Ahora bien, si decimos que el hombre es un subsistema de la empresa, deben darse en él las mismas cinco funciones. Así las funciones de producción podrían ser el metabolismo, es decir, la capacidad de combinar las corrientes de entrada para la producción de energía.

¹ S. Beer, "Decisions and Control", (London, J. Wiley and Sons Inc., 1970).

² Katz y Kahn, "Social Psychology of Organizations", (N. York, J. Wiley and Sons Inc., 1966).

Las funciones de apoyo las ejecutan ciertos órganos, como el aparato digestivo y el aparato respiratorio. Las funciones de venta se originan en el uso de nuestra energía como fuerza, inteligencia, velocidad, etc. La función de relaciones públicas está en nuestra mente que consciente o inconscientemente busca el reconocimiento de nuestro yo. La función de mantención es desarrollada por nuestra mente, especialmente a través del cuidado en el uso del cuerpo y de la "mantención preventiva o reparación" frente a enfermedades. La función de adaptación corre por cuenta, en parte, de la evolución orgánica y también de la evolución cultural. Finalmente, el centro director y decididor se encuentra en el cerebro.

El mismo análisis podría ser llevado a cabo para demostrar que la empresa y otros grupos humanos son subsistemas de un supersistema que denominamos comunidad o país. Se puede observar (y Katz y Kahn lo plantean) que en este supersistema son identificables cada una de las funciones indicadas.

LECTURA 1.6

INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO SISTÉMICO

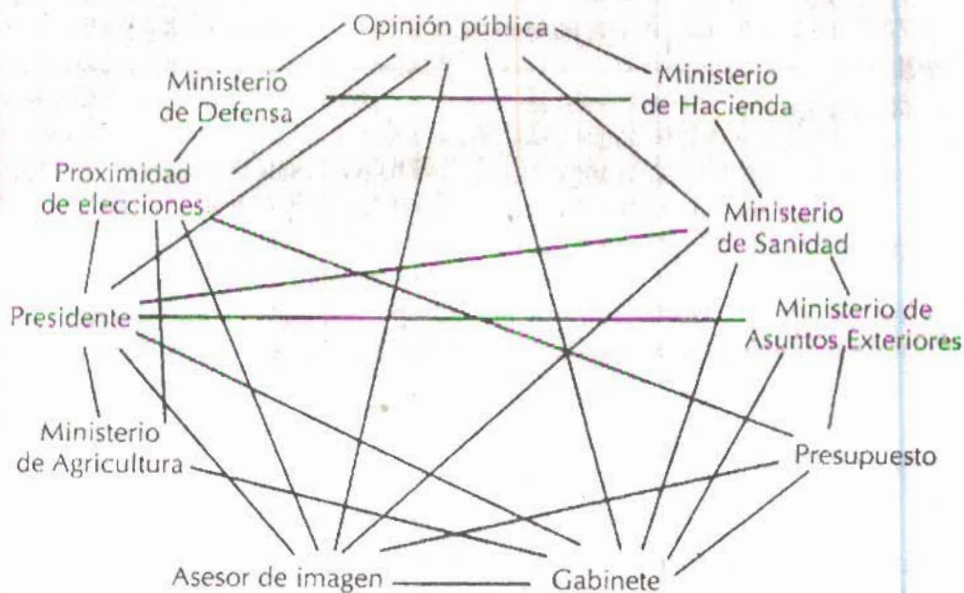
*Recursos esenciales para la creatividad
y la resolución de problemas*

Joseph O'Connor e Ian McDermott
Ediciones Urano

El sistema como una tela de araña

Los sistemas complejos están trabados por muchos vínculos, por lo que suelen ser muy estables. El dicho francés *plus ça change, plus c'est la même chose* resume muy bien este hecho: lo importante permanece por mucho que cambien las cosas. Es fácil ver por qué ocurre de este modo. Imaginemos un sistema como una tela de araña en la que cada parte está conectada a muchas otras e influye sobre ellas. Cuantas más partes haya, mayor complejidad de detalle tendrá el sistema. Cuanto más cambien de estado las partes y formen alianzas, y cuantas más conexiones haya entre las partes, mayor será la complejidad dinámica del sistema.

Imaginemos un sistema complejo como una tela de araña. Tenemos como ejemplo algunos de los posibles elementos del gobierno de un país ficticio llamado Distopia (véase la figura). También podríamos considerar que este hipotético sistema representa un negocio, y los diversos elementos serían los distintos métodos de trabajo, las diversas competencias laborales, los mecanismos de remuneración e incentivos y los estilos de gestión. Asimismo podría representar a los miembros de una organización o los factores que participan en una campaña publicitaria, las ideas de una escuela de pensamiento, los miembros de un equipo o de una familia, o las partes del cuerpo.



El gobierno de Distopía

Este sistema se compone de once elementos. Supongamos que el gobierno es estable, que todas las piezas encajan y que el sistema funciona. Los vínculos entre las partes se mantienen firmes. Imaginemos ahora que queremos modificar la forma de elaborar el presupuesto, pero no podemos hacerlo sin tener en cuenta todas las partes con las que se vincula este elemento. La modificación afectará a las demás partes del sistema con las que está vinculado. Las partes mostrarán resistencia al cambio porque implica que ellas también tendrán que cambiar.

Este es el problema de las reformas políticas. El sistema político es muy complejo y son muchos los políticos que han visto frustradas sus carreras por la resistencia del sistema a cambiar. Los nuevos gobiernos heredan una vasta burocracia, conocida por su exceso de cautela. En la famosa comedia televisiva de la BBC *Si, señor ministro* se parodiaba la desesperación del ministro Jim Hacker (ascendido posteriormente, por encima de su nivel de competencia, a primer ministro) luchando en vano contra las maquiavélicas artimañas de sus funcionarios. Cada vez que intentaba adoptar una iniciativa o introducir algún cambio, de un modo u otro acababa reforzando el sistema que pretendía modificar. El cuerpo funcional personificaba la resistencia de un sistema complejo a los cambios rápidos (o, más bien, a todo tipo de cambios).

Todo sistema actúa como una fuerte red elástica: si se estira de una pieza hacia fuera se mantendrá en la nueva posición sólo mientras se ejerza presión sobre ella. Tan pronto como se deja de ejercer la presión, volverá, para nuestra sorpresa y enojo, al lugar donde estaba antes. Cuando uno se da cuenta de que esa obstinación es parte del sistema, y no malicia aislada, la resistencia no sólo resulta comprensible, sino inevitable.

Los propósitos de enmienda de año nuevo son buen ejemplo. Supongamos que tenemos algún hábito que nos gustaría cambiar. Los hábitos, en particular los que no cuentan con nuestra aprobación, son algo que parece «ajeno» a nosotros mismos, algo de lo que podríamos desprendernos sin preocuparnos lo más mínimo. Sin embargo, los hábitos son parte de nuestro sistema de comportamiento. Aunque no nos gusten, están conectados a muchas otras partes de nuestra vida. A pesar de los buenos propósitos del día de fin de año, el hábito seguirá ahí a menos que hagamos un esfuerzo constante por evitarlo. Sentiremos literalmente su presión sobre nosotros. Poner mucho empeño quizá no sirva de nada. No es el hábito o la conducta concreta lo que tiene tanta fuerza, la resistencia proviene de todas las partes a las que está vinculado. No tiramos sólo de él, tiramos de todos los demás hábitos y experiencias a los que está vinculado. Desde la perspectiva del pensamiento sistémico, nos resultará muy difícil mantener ese tipo de resoluciones.

Estabilidad y efecto palanca

La estabilidad de un sistema depende de muchos factores: el tamaño, la cantidad y diversidad de los subsistemas que abarque, y el tipo y grado de conectividad que exista entre ellos. Un sistema complejo no tiene por qué ser inestable. Muchos sistemas complejos son particularmente estables y, por tanto, resistentes al cambio. Por ejemplo, los distintos partidos políticos pueden alternarse en el poder sin que por ello se socave el sistema democrático. Las familias toleran las discusiones y los desacuerdos sin desmembrarse, y las empresas siguen funcionando aun con discrepancias entre los diversos departamentos. Asimismo, podemos tener lesiones o enfermedades en alguna parte de nuestro organismo y ello no nos impide continuar con nuestra vida normal. Esta estabilidad es muy importante, ya que sin ella nuestra salud fluctuaría sin sentido, la marcha de las empresas no tendría rumbo y cualquier diferencia de opinión amenazaría nuestras amistades. Así pues, esta estabilidad global es un aspecto positivo, pero no hay duda de que todo tiene su precio, y en este caso el precio es la resistencia al cambio.

En consecuencia, los partidos políticos están en permanente batalla con los funcionarios, y las reformas en constante compás de espera. Las familias pueden no llevarse bien y aun así seguir viviendo juntas. Las nuevas prácticas empresariales suelen encontrar barreras, pues la gente prefiere hacer las cosas como se han hecho siempre. No son los individuos quienes plantean las dificultades, es el propio sistema. Cada vez que se introduce un cambio en cualquier sistema complejo -una empresa, una familia o nuestra propia manera de proceder- debemos esperar que haya resistencia. No puede haber estabilidad sin resistencia; son las dos caras de una misma moneda.

Con frecuencia, quienes instauran las reformas, sobre todo en el mundo empresarial, cometen el error de presionar y presionar hasta agotar la capacidad de adaptación del sistema. Llegados a ese punto, se produce la ruptura, que siempre va en perjuicio de todos.

Cuando los sistemas cambian realmente, suelen hacerlo de forma rápida y drástica. El muro de Berlín es un buen ejemplo. Desde agosto de 1961 dividía la ciudad en las zonas Este y Oeste como símbolo indeleble de la hostilidad hacia Occidente por parte del régimen de la Alemania Oriental. Sin embargo, en noviembre de 1989 el régimen se vino abajo y el muro fue derribado por una población enfervorizada que no dudó en acometer la tarea con sus propias manos, en una escena increíble de júbilo y liberación. Había muchas razones políticas y económicas detrás de aquello, no respondía a un proceso simple, pero el acontecimiento decisivo se produjo de manera rápida y espectacular. Al mismo tiempo, distintos gobiernos comunistas que se habían mantenido estables durante décadas empezaron a caer uno tras otro.

Cuando se acumula la presión del cambio en un sistema, puede explorar de repente como un globo. Hay un umbral a partir del cual el sistema sólo podrá cambiar o deshacerse. Si la presión es mucha, bastará con un simple empujón, al igual que una pequeña grieta puede provocar el derrumbamiento de una presa por la presión del agua. Cuanto mayor es la tensión, más fácil es perder los nervios. Es la gota que colma el vaso.

Asimismo, si un sistema se encuentra bajo presión durante un tiempo suficientemente prolongado, puede desplomarse de repente. También es posible que los sistemas cambien de forma repentina si se emprenden las acciones apropiadas. Esto es factible cuando se comprende bien el sistema; es lo que se denomina *el principio de palanca* y se trata de algo sencillo. Una vez más, imaginemos un sistema como una tela de araña con muchas partes conectadas. Supongamos que queremos cambiar la posición de una de las partes. Si tiramos de ella directamente, nos parecerá que se resiste, pero es el sistema entero en verdad el que ofrece resistencia. Sin embargo, si cortamos un pequeño vínculo en otro punto del sistema, tal vez logremos liberar la pieza que queremos mover, del mismo modo que desenredemos una maraña de hilos al deshacer sólo un nudo. Es preciso conocer cómo está hecho el sistema para saber cuál es el nudo que hay que deshacer. Hace unos años, Ian trabajaba en una empresa en la que todo el mundo sabía que si querías hacer algo concreto en un departamento tenías que hablar con la secretaria del jefe de departamento; hablar directamente con los directivos no servía de nada.

El efecto palanca y el cambio repentino tienen que ver también con el grado de homogeneidad en el funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo y con su forma de reaccionar en situaciones especiales. Los sistemas complejos no siempre tienen un comportamiento continuo. Diremos que el comportamiento de un sistema es continuo cuando actúa de forma predecible con arreglo a una serie de estados. Por ejemplo, si probamos un coche a las distintas velocidades que es capaz de funcionar, podremos tener la certeza de que si funciona bien a 110 Km por hora y a 15 Km por hora, funcionará también a cualquiera de las velocidades intermedias. No parece previsible que vaya a estropearse de repente a 58 Km por hora. Su comportamiento es continuo en el intervalo de velocidades.

Los sistemas vivos y algunos sistemas automáticos, como los programas de ordenador, pueden tener un comportamiento muy distinto. Diremos que un sistema tiene un comportamiento discontinuo cuando ocurre algo raro en una serie determinada de circunstancias especiales. Por ejemplo, cuando el ordenador se queda bloqueado, cuando una persona pierde los nervios o se pone enferma. La posibilidad de que eso ocurra siempre ha existido, pero nunca se han dado esas circunstancias específicas en las pruebas, el sistema es demasiado complejo para controlar todas las variables. Dos aplicaciones de *software* que funcionen perfectamente por separado tal vez no lo hagan en combinación y provoquen el bloqueo del ordenador. Dos profesionales excelentes por separado pueden ser un completo desastre al trabajar juntos.

Los medicamentos son otro ejemplo. Antes de sacarlos al mercado, es preciso someterlos a estrictas pruebas durante un período de tiempo largo. Aun así, muchos fármacos tienen reacciones adversas en combinación con otros efectos secundarios que tardan años en manifestarse. La presencia en el organismo de otro medicamento o la duración prolongada del tratamiento (o ambas cosas) constituyen la serie determinada de circunstancias especiales. Cuanto más complejo es un sistema, menos fiables son las tomas de muestras para predecir posibles efectos.

El proceso es el mismo cuando perdemos los nervios. Por ejemplo, supongamos que hemos tenido un día espantoso, todo ha sido un desastre y no podemos evitar el mal humor. Nos sentimos bajo presión. Entonces, ocurre algo trivial: un conductor comete una infracción o alguien hace una observación que nos molesta. Es la última gota que colma el vaso, y montamos en cólera.

Con todo, también hay buenas noticias (¡cómo no!). Si el fallo del sistema se da en circunstancias que parecen insignificantes, también pueden producirse otros cambios más positivos con poco esfuerzo. El cambio resulta sorprendentemente fácil si identificamos las conexiones apropiadas. No significa que debamos apuntalar la presión, sino saber *dónde* intervenir para obtener un gran resultado con un pequeño esfuerzo. Esto es el *efecto palanca*.

¿Cómo se aplica la idea del efecto palanca? En lugar de malgastar energía en tirar o empujar directamente, lo cual no sólo nos dejaría agotados a nosotros, sino también al sistema, hemos de formular la pregunta sistémica clave: *¿qué es lo que frena el cambio?*

Observamos las conexiones que sujetan la parte que queremos mover. Procedamos a cortarlas o a soltarlas y el cambio resultará fácil. Este es el principio clave del pensamiento sistémico.

Algunas partes del sistema son más importantes que otras, es decir, ejercen un mayor grado de control. Por ejemplo, tener una lesión en la cabeza es más peligroso que tenerla en la pierna, porque el cerebro tiene un nivel de control sobre el organismo superior de la pierna. En el ámbito de la empresa, cuando se introduce un cambio en la casa central, sus efectos se ramifican por todas las filiales. Es poco probable que el cambio de un directivo en una sucursal tenga algún efecto en la política global de la empresa, aunque podría ser,

pues los sistemas complejos están llenos de sorpresas. No obstante, por regla general, cuanto más alto es el nivel de control de la parte en la que se efectúa el cambio, más se extienden y ramifican sus efectos.

Efectos secundarios

Esto nos lleva a otra consecuencia de la conectividad de las piezas de un sistema. Cuando cambiamos una parte, la influencia se propaga como las ondas de una piedra al tirarla a un estanque. Cualquier modificación que hagamos afectará a otras partes del sistema que, a su vez, afectarán a otras alejadas ya del cambio original.

Al manejar un sistema no podemos nunca hacer sólo una cosa.

Los medicamentos vuelven a servirnos de ejemplo. Todos los fármacos tienen efectos secundarios, lo importante es si se trata de efectos manifiestos y, en tal caso, el grado de molestia o de riesgo en comparación con sus efectos beneficiosos. Los antibióticos, por ejemplo, son muy eficaces contra las infecciones por bacterias. Las molestias estomacales que producen (pues matan también las bacterias naturales y beneficiosas que se generan en el intestino) suelen ser un mal menor.

En ocasiones, los efectos secundarios de los fármacos se manifiestan años después del tratamiento, y resulta difícil establecer la relación causa-efecto. Por ejemplo, los corticoides se utilizan para tratar una gran diversidad de enfermedades: procesos inflamatorios, asma, eccema y artritis. Sin embargo, también causan debilidad muscular, elevación del nivel de azúcar en sangre, diabetes, retención de líquidos, insomnio; cambios del estado anímico, problemas menstruales y osteoporosis, según viene especificado en la publicación oficial *Physician's Desk Reference*. Cuanto más eficaz es un medicamento, más probabilidades hay de que tenga efectos secundarios.

A veces, no obstante, los efectos secundarios se pueden utilizar en otro contexto. Por ejemplo, la aspirina, además de ser un potente analgésico, tomadas en grandes cantidades tiene el efecto secundario de ser anticoagulante. Es por tanto un remedio económico, fácil de adquirir y conocido, que se utiliza mucho en la actualidad para prevenir los infartos en pacientes que hayan sufrido previamente algún ataque de corazón o en los que tienen problemas de vasoconstricción. Aun así, la aspirina tiene otros efectos secundarios negativos: molestias estomacales, náuseas y, en ocasiones, reacciones alérgicas y anemia, ya que reduce la absorción de vitaminas y minerales esenciales, sobre todo del hierro.

Somos muy cautelosos con los fármacos, pero no tanto con sus equivalentes aplicados al medio ambiente: los pesticidas y otros productos químicos. El ejemplo más deplorable es el del insecticida DDT. Su invención data de 1939 (a su descubridor le concedieron el premio Nobel) y los agricultores lo utilizaron como insecticida. Por ser especialmente eficaz contra los mosquitos sirvió también para impedir la propagación de la malaria. Sin embargo, hacia 1950 había ya pruebas claras de que el DDT era tóxico para muchos

animales. Hacia 1970, cuando empezó a controlarse su uso, ya habían llegado a la cadena alimentaria y fue detectado en tejido humano.

Tampoco era eficaz como insecticida a largo plazo. Al principio, los insectos ingerían el DDT, pero los insectívoros (animales que se alimentan de insectos) se comían después a los insectos envenenados. Cuando los insectívoros empezaron a morir, la población de insectos (que ya empezaba a ser inmune al DDT) aumentó, de modo que, paradójicamente, en lugar de disminuir se hizo más numerosa.

Conviene tener en cuenta que en la actualidad hay más de 65.000 productos químicos que se comercializan de forma regular, y cada día salen al mercado cinco más. El ochenta por ciento de estos productos no han pasado pruebas de toxicidad². Sus efectos secundarios se van descubriendo con el paso del tiempo, en perjuicio de todos nosotros, pues, otro principio del pensamiento sistemático es:

Hay que contar con los efectos secundarios.

Tal vez sean sorprendentes, o desagradables, pero si conocemos el sistema podremos predecir sus efectos y modificarlo para obtener efectos positivos y reducir en lo posible los negativos. O bien podremos acometer un cambio positivo como efecto secundario de otro cambio aplicando el principio de palanca.

Por ejemplo, conocemos a una familia en la que unos de los hijos, un chico de 10 años que se llama Tom, empezó a tener problemas en el colegio. Se pegaba con otros niños en el patio y era muy propenso a las peleas. En el aula demandaba la atención del profesor de forma exagerada. Hablaron con los padres y se decidió que la familia debía recibir orientación psicológica. Después de una cuantas sesiones, resultó que el punto de palanca se encontraba en la actitud de los padres respecto a la disciplina. En su educación tendían a establecer límites poco rígidos porque querían fomentar en su hijo la confianza en sí mismo y la capacidad de descubrir las cosas por sí solo. Estaban convencidos de que los límites resultan mucho más eficaces y adecuados cuando se establecen un proceso de interiorización, y no por imposición. Este enfoque funcionó muy bien con el hermano mayor de Tom. Sin embargo, Tom necesitaba que las fronteras estuvieran muy bien definidas. Necesitaba que le dijeran exactamente lo que debía hacer. Sin saber con claridad dónde se situaban los límites, se sentía inseguro y se empeñaba en llevar las cosas hasta el extremo para descubrir dónde estaban.

Como prueba, y con el respaldo del terapeuta, los padres empezaron a dar muchas directrices a Tom. Después de unas cuantas semanas difíciles, el niño empezó a responder. Empezó a mostrarse mucho más relajado, dejó de enzarzarse en peleas y trabajaba en clase de forma más autónoma. Paradójicamente (otra vez esta palabra), los padres consiguieron el resultado que buscaban haciendo exactamente lo contrario. Los efectos pasaron de Tom a sus padres, a su hermano mayor y al colegio. El profesor de Tom dejó de estar en tensión y toda la clase estuvo mucho más a gusto.

² World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford University Press, 1987.

En este ejemplo, nadie tenía la culpa ni deseaba la situación inicial. Todos estaban de acuerdo en que había que cambiarla, pero ¿de qué modo? La medida adoptada se aplicó indirectamente a Tom y directamente a las convicciones de sus padres. Cuando ellos empezaron a actuar de forma distinta, Tom cambió también de actitud.

Veremos cómo con frecuencia el punto crucial para el efecto palanca en un sistema se sitúa en las convicciones de las personas que lo forman, porque el propio sistema se sustenta en las convicciones.

INTRODUCCIÓN AL
PENSAMIENTO SISTÉMICO
*Recursos esenciales para la creatividad
y la resolución de problemas*
Joseph O'Connor e Ian McDermott
Ediciones Urano

El sistema más complejo de los que conocemos

El mundo es un sistema muy complejo. Necesitamos un sistema complejo para comprenderlo.

El cerebro es la estructura más compleja dentro del universo conocido. Con un peso aproximado de 1,5 Kg., se compone de 100 mil millones de neuronas o células cerebrales, tantas como estrellas hay en la Vía Láctea. Sólo en la parte frontal del cerebro, o corteza cerebral, hay más de 10.000 millones de neuronas. Las conexiones entre las células neurales son más importantes que las propias células, como puede inferirse del pensamiento sistemático. Una sola neurona puede asimilar hasta 100.000 estímulos y de forma continua integra 1.000 estímulos. El cerebro no es como un ordenador, pero cada neurona sí que funciona como un pequeño ordenador. En la corteza se producen más de mil billones de conexiones. Si nos pusiéramos a contar una por segundo, tardaríamos 32 millones de años en contarlas todas.

No hay dos cerebros iguales. Nacemos con todas las neuronas que necesitamos pero hasta un 70 por ciento del total mueren durante el primer año de vida. Las neuronas supervivientes forman un entramado de conexiones cada vez más complejo. Algunas conexiones se refuerzan con el uso, y otras se van muriendo a medida que adquirimos conocimiento del mundo. El cerebro no es independiente del exterior, se va formando por su influencia; el sistema externo del mundo moldea el sistema interno del cerebro.

El cerebro tiene la función de extraer el sentido y los patrones del enorme flujo de información sensorial que recibe. El acto en sí de la percepción da también significado a esa percepción, y así el cerebro conforma el mundo al tiempo que lo percibe. La interpretación es parte de la sensación.

Los neurocientíficos describen el cerebro como una red de procesamiento en paralelo interconectada, descentralizada y distribuida de ondas simultáneas de patrones de resonancia interactivos. En otras palabras: un sistema muy complejo.

El cerebro es tan complejo como anhelaba nuestra vanidad y se temía nuestro intelecto.

Sistemas simples y complejos

Todo sistema se fundamenta en la interacción de las partes que lo forman, en consecuencia, las relaciones entre las partes y su influencia mutua son más importantes que la cantidad de partes o el tamaño de las mismas. Estas relaciones, y por tanto los sistemas, pueden ser simples o complejas.

Hay dos formas muy distintas de que algo sea complicado. Cuando pensamos que algo es complejo, nos lo imaginamos compuesto de muchas partes distintas. Esa es la complejidad de detalle. Un puzzle de 1.000 piezas nos plantea una complejidad de detalle. Suele haber alguna forma de simplificar, agrupar u organizar este tipo de detalle, y sólo hay un lugar para cada pieza. Los ordenadores manejan muy bien esta clase de complejidad, sobre todo si es posible secuenciarla.

El otro tipo de complejidad es la dinámica: es aquella en que los elementos se relacionan unos con otros de muchas formas distintas, porque cada parte puede tener diferentes estados, de modo que unas cuantas partes pueden combinarse en miles de formas diferentes. Resulta entonces erróneo basar la complejidad en el número de partes en lugar de en las posibles formas de combinarlas. No es necesariamente cierto que cuanto menor sea el número de partes, más fácil será manejarlas y comprenderlas. Todo dependerá del grado de complejidad dinámica.

Pensemos en un equipo de profesionales que trabajan en un proyecto. El estado de ánimo de cada miembro del equipo puede variar en cualquier momento. Son sin duda muchas las formas en que pueden relacionarse unos con otros. Es decir, un sistema compuesto sólo de unas cuantas partes puede tener sin embargo un grado elevado de complejidad dinámica. Así, problemas que en apariencia parecen simples pueden encerrar una gran complejidad dinámica cuando nos adentramos en ellos.

Las nuevas conexiones entre las partes de un sistema añaden complejidad, y al añadir una pieza se crean muchas conexiones nuevas. Cuando se añade una pieza nueva, el número de *conexiones posibles* no se incrementa de forma proporcional, sino que se incrementa *exponencialmente*. Dicho de otro modo: con cada nueva pieza el incremento es mayor que el que teníamos con la pieza anterior. Por ejemplo, supongamos que comenzamos con dos piezas: A y B. Los posibles vínculos y trayectos de influencia son dos: A sobre B y B sobre A. Si añadimos otra pieza, tendremos tres partes A, B y C. Sin embargo, el número de conexiones posibles habrá aumentado a seis; y a doce si pueden darse uniones de dos de las partes para influir sobre la tercera (por ejemplo, A y B sobre C). Ya vemos como no hacen falta muchas partes para crear un sistema dinámicamente complejo, ni siquiera es necesario que las partes puedan cambiar de estado. Esto es algo que sabemos por experiencia: manejar a dos personas a la vez supone más del doble de esfuerzo que manejar a una sola, hay más probabilidades de malentendidos en la comunicación. Tener un segundo hijo, por ejemplo, supone para los padres bastante más del doble de esfuerzos y de alegrías que tener sólo uno.

Los sistemas más simples serán entonces los que se compongan de pocas partes que tengan sólo unos cuantos estados y unas cuantas relaciones simples entre las partes. El sistema de cañerías de una vivienda o del termostato de la calefacción pueden servir de ejemplo, ya que tienen una complejidad de detalle y una complejidad dinámica limitadas.

Un sistema muy complejo será entonces el que tenga muchas partes o subsistemas que puedan cambiar a diferentes estados al interactuar unos con otros. Representar este tipo de sistema complejo sería como buscar la salida por un laberinto que cambia completamente de forma según la dirección que tomáramos en cada momento. Un juego de estrategia, por ejemplo, el ajedrez, es un juego de complejidad dinámica, ya que con cada nuevo movimiento el tablero se transforma, pues se modifican las relaciones entre las piezas (el ajedrez tendría una complejidad dinámica aún mayor si alguna de las piezas tuviera la propiedad de convertirse en otra pieza distinta con cada nuevo movimiento).

La primera lección del pensamiento sistémico es saber si tratamos con una complejidad simple o dinámica. es decir, un puzzle o una partida de ajedrez.

La relación entre las diversas partes de un sistema determina el funcionamiento del mismo, de modo que cada parte, por pequeña que sea, puede influir en el comportamiento del conjunto. Por ejemplo, el hipotálamo, una pequeña glándula del tamaño de un guisante que se encuentra en el cerebro, regula la temperatura del cuerpo, la frecuencia respiratoria, el equilibrio hídrico y la presión arterial. Asimismo, el ritmo cardíaco influye en todo el organismo; cuando se acelera, nos sentimos ansiosos, excitados o eufóricos, y cuando se lentifica, nos sentimos más relajados.

Todas las partes de un sistema son dependientes entre sí, todas mantienen una interacción recíproca. El modo en que se relacionan unas con otras les da capacidad para influir en todo el sistema. De aquí puede inferirse una regla interesante para influir en los sistemas, en especial en los grupos: cuantas más conexiones tengamos, mayor será nuestra influencia potencial. Crear redes de trabajo aporta influencia. De hecho, las investigaciones sugieren que los directivos de mayor éxito profesional invierten cuatro veces más tiempo en el establecimiento de redes de trabajo que sus colegas menos reconocidos¹.

Las diversas partes de un sistema pueden también combinarse para influir en el conjunto. Así, los grupos que forman alianzas introducen diferencias en los gobiernos, las organizaciones y los equipos.

¹ Luthans, Paul. *Real Managers*, Ballinger Publishing Company, 1988.

INTRODUCCIÓN AL
PENSAMIENTO SISTÉMICO
*Recursos esenciales para la creatividad
la resolución de problemas*
Joseph O'Conoor e Ian McDermott
Ediciones Urano

2

Pensamiento en círculos

Bucles de realimentación: la esencia de los sistemas

El pensamiento sistémico es un pensamiento en círculos más que un pensamiento en líneas rectas. Todas las partes de un sistema están conectadas directa o indirectamente, de modo que al cambiar una de las partes el efecto se propaga a todas las demás, que experimentan un cambio y, a su vez, terminan afectando a la parte original. Entonces, la parte original responde a esa nueva influencia. Así pues, la influencia vuelve modificada a la parte original, lo que genera un bucle, no un canal de una sola dirección, que se denomina bucle de realimentación. Cuando dos partes están conectadas, la influencia se transmite en las dos direcciones, igual que una línea de teléfono: del mismo modo que llamamos por teléfono a un amigo, este amigo nos puede llamar a nosotros. Diremos que la realimentación es, por tanto, una reacción del sistema que se regenera en forma de estímulo o la información devuelta que influye en un paso siguiente.

Nuestra experiencia está hecha de bucles de realimentación, a pesar de que generalmente creemos que la influencia tiene una sola dirección. Vamos a hacer un experimento. Pongamos lentamente la yema del dedo índice sobre el punto que hay al final de esta oración. Acabamos de demostrar lo que es un bucle de realimentación. ¿todavía no se lo creen? Vamos a hacerlo otra vez, pero ahora con los ojos cerrados. Imposible. Para acertar, necesitamos que los ojos nos den una información constante sobre la posición de la yema del dedo respecto al punto. En fracciones de segundo, realizamos pequeños ajustes continuos hasta llegar a tocar la página.

INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO SISTÉMICO



Bucle de realimentación

Podríamos comprobarlo con fotografías de alta velocidad. Al cerrar los ojos obtenemos la prueba de que la yema del dedo no va directa al punto como una flecha al ser disparada por el arco. Con la vista medimos de forma constante la posible diferencia entre la yema del dedo y el punto de la oración, y los músculos actúan en constancia para reducir esa diferencia. (...)

Todos experimentamos la realimentación como la consecuencia de nuestros actos que vuelve a nosotros e influye en lo que hacemos a continuación. El término «realimentación», *feedback* en inglés, suele utilizarse con el significado de «respuesta», pero lo importante es que se trata de un retorno de los efectos de una acción que influye en el siguiente paso, esto es, un vínculo de dos direcciones. La realimentación es un bucle, por eso, el pensamiento en función de la realimentación, es un *pensamiento en círculos*.

(...) La revisión anual del rendimiento laboral sólo será realimentación cuando genere un cambio en la forma de trabajo del individuo, bien en forma de motivación que le lleve a dar mejores resultados, bien en forma de desánimo que le lleve a adoptar una actitud de indiferencia.

La sed es un buen ejemplo de realimentación. Pensamos en lo que ocurre cuando nos damos cuenta de que tenemos sed. Primero tenemos una sensación de insatisfacción; vamos entonces por un vaso de agua. Según la estamos bebiendo, sentimos menos sed y bebemos entonces menos agua. Seguimos bebiendo hasta que estamos satisfechos; en ese momento dejamos de beber. Es decir, la sed influye en la cantidad de agua que bebemos, y la cantidad de agua que bebemos influye en la sed. Pensamos que se trata de una sola acción, pero si lo pensamos con más detenimiento veremos que es un bucle. Sería una sola acción si supiéramos de antemano exactamente la cantidad de agua que tenemos que beber para calmar nuestra sed, y después la bebiéramos. (...)



Bucle de realimentación en la sed

Pensamos ahora en una conversación entre dos personas e imaginemos que asistimos a ella a cámara lenta y observamos lo que ocurre momento a momento. Uno de los dos piensa en lo que va a decir y luego lo dice. El otro escucha las palabras, que estimulan sus propios pensamientos, y responde. El primero responde a la respuesta del segundo. Cada respuesta se emite a través de la boca y del lenguaje corporal, y el discurso y lenguaje corporal de uno de los dos sirve de estímulo para el otro y lo recibe a través de la vista y el oído. La respuesta del primero se convierte en el estímulo del segundo, influyendo al mismo tiempo en la respuesta del segundo, que pasa a ser el estímulo del primero... Y así se va sucediendo la conversación. El receptor sabe qué decir después de escuchar al emisor. Cualquier persona que se limite a hablar a los demás haciendo caso omiso de la respuesta de los otros, interesado únicamente en el sonido de su propia voz, resulta aburrida; suele ocurrir que acaba hablando sola sin nadie que quiera escucharla.



Bucle de realimentación en la comunicación

La realimentación es tan importante para nuestras vidas que cuando no la recibimos nos la inventamos. Así, si un amigo me dice que me va a llamar y no me llama, considerará la ausencia de la llamada como realimentación y deduciré que él no se preocupa por mí, que no soy importante para él. Es imposible no comunicarse ya que aun la falta de comunicación la consideramos como realimentación, porque forma parte de nuestra experiencia.

(...)

El principio de la realimentación resulta tan simple, tan omnipresente, que constantemente vivimos y respiramos bucles de realimentación sin reparar en ellos. Cuesta valorar hasta que punto son importantes.

Asimismo, hay también bucles de realimentación en el funcionamiento de las máquinas que construimos. La realimentación es el principio por el cual las máquinas pueden funcionar sin intervención humana. Las máquinas cuyo funcionamiento se basa en circuitos de realimentación son más potentes, más fáciles de controlar y no precisan la supervisión constante de un ser humano. La máquina de vapor, por ejemplo, revolucionó la tecnología que existía en su momento, dio un nuevo ímpetu a la tecnología industrial y cambió nuestras vidas y los métodos de trabajo. Hoy los circuitos electrónicos de realimentación dominan la revolución de la información, son la fuerza motriz de los ordenadores y de todos los dispositivos basados en la tecnología de los microchips, desde las lavadoras hasta los misiles.

Para ver un sencillo dispositivo de uso cotidiano con realimentación mecánica, sólo tenemos que trasladarnos a nuestro cuarto de baño. El flotador de la cisterna del inodoro mantiene el agua en un nivel constante. El principio es muy simple: hay un balón brande y hueco que flota sobre el agua y está conectado mediante una serie de palancas a una válvula que, al abrirse, permite la entrada de agua. Al tirar de la cadena, se abre otra válvula que da salida al agua de la cisterna, entonces el nivel de agua baja y con él el flotador. La caída del flotador levanta la primera válvula, con lo que la cisterna vuelve a llenarse de agua. Cuando la cisterna está llena, el nivel de agua se eleva y con él el flotador. A medida que se eleva el flotador se cierra la entrada de agua, de modo que cuando se encuentra en su tope superior, la válvula de entrada está ya completamente cerrada. Un sistema muy similar es el que controla el flujo de combustible en un coche desde el carburador hasta el motor. La presión del acelerador con el pie controla la válvula, aunque también puede hacerse mediante el mecanismo de control automático, que tiene un dispositivo de realimentación más complejo.

(...)

Realimentación de refuerzo

La realimentación es fundamental en cualquier sistema; sin realimentación, no hay sistema.

Los bucles de realimentación son básicamente de dos tipos:

- El primer tipo es el de *realimentación de refuerzo*: cuando los cambios registrados en todo el sistema se realimentan para amplificar el cambio original. Dicho de otro modo: el cambio recorre todo el sistema produciendo más cambios en la misma dirección.
- El segundo tipo es el de *realimentación de compensación*, que se da cuando los cambios registrados en todo el sistema se oponen al cambio original para amortiguar el efecto.

Todos los sistemas, por muy complejos que sean, constan únicamente de estos dos tipos de bucles de realimentación.

Examinemos en primer lugar la realimentación de refuerzo. Con frecuencia se denomina «positiva» a este tipo de realimentación, pero es una denominación poco acertada ya que, por un lado, es posible confundirla con la alabanza, y por otro, da la impresión de que se trata de una realimentación buena. En realidad esta realimentación puede ser buena o un desastre si lleva al sistema a una espiral en la que se pierda totalmente el control, según

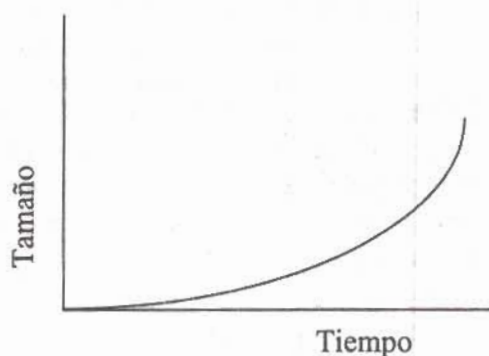
lo que se amplifique con ella. Para evitar confusiones, aquí la denominaremos en todo momento realimentación «de refuerzo».

La realimentación de refuerzo dirige el sistema en la dirección que lleve. Puede favorecer su crecimiento o su declive, según el estado de partida. La recompensa es parte de un bucle de realimentación de refuerzo si conduce a un incremento del mismo comportamiento. La recompensa adopta la forma de regalos, dinero, aliento, atención e incluso una sonrisa. La acción, la recompensa y la repetición de la acción forman el bucle de realimentación de refuerzo. La recompensa por sí sola no es realimentación de refuerzo, a menos que dé como resultado más de lo mismo.

Pensemos en una bola de nieve rodando por una colina. A medida que baja va cogiendo más nieve y cuanto más grande se hace más nieve tiene, hasta que se convierte en un alud.

(...)

Para ilustrar la realimentación de refuerzo nos serviremos de la imagen de la bola de nieve:



Realimentación de refuerzo: crecimiento exponencial

(...)¹

Recapitulemos: la realimentación de refuerzo conduce a cambios en la misma dirección que el cambio inicial. Cuando el cambio inicial lleva una dirección favorable, se produce un gran beneficio. Pero ¿qué ocurre si el cambio inicial no es favorable? La realimentación de refuerzo puede llevar tanto a un círculo vicioso como a una cadena de acontecimientos positivos.

Tomemos el ejemplo de una cuenta de ahorros o cualquier inversión de capital. Cuando la inversión es positiva, el bucle de refuerzo genera más riqueza, de modo que podemos invertir más. Si no hay inversión, no hay cambio. Pero si debemos dinero, la deuda aumentará a gran velocidad. Si contraemos con una tarjeta de crédito una deuda de 200.000 pesetas con un índice de crecimiento anual del 20 por ciento, por ejemplo, al final del primer año nuestra deuda habrá aumentado a 240.000 pesetas y a 288.000 pesetas al final del segundo año. Al cabo de cuatro años, la deuda se habrá duplicado, y volverá a duplicarse cuando transcurran cuatro años más. El crecimiento exponencial implica un tiempo de duplicación constante, cualquiera que sea la cantidad.

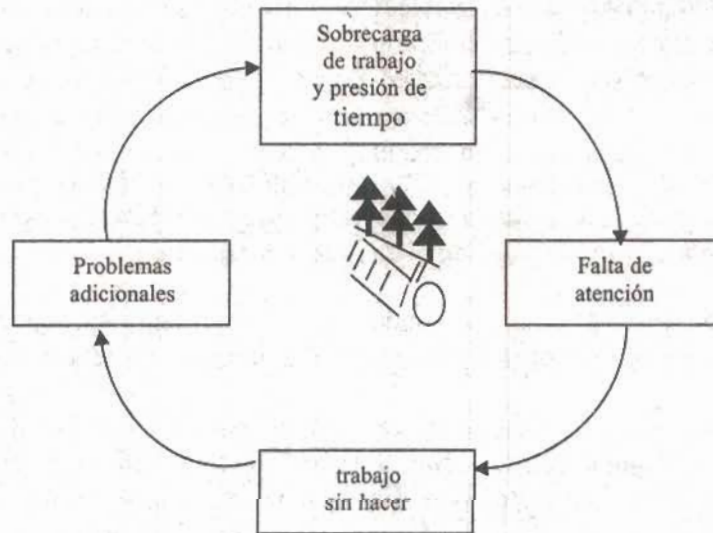
¹ I. Lutz, Dr. W., y col., *The Future Population of the World: What can we assume today?* Earthscan, 1996,

(...)

La realimentación de refuerzo no siempre lleva a un crecimiento exponencial explosivo, pero sí *amplifica* siempre un cambio en la misma dirección. La comunicación a veces adopta bucles de realimentación de refuerzo. Cuando se inicia en términos amistosos es como meter dinero en una cuenta. Los buenos sentimientos dominarán la situación y las dos personas disfrutarán del encuentro. La confianza mutua genera más confianza. Un encuentro neutro es como una cuenta vacía, tiende a mantenerse neutro; pero si la comunicación se inicia con mal pie, la situación puede echarse a perder en breve. La desconfianza mutua puede funcionar como un bucle de realimentación de refuerzo. Así, cuando unas personas desconfían de otras, hay más probabilidades de que haya malentendidos y, después, las personas implicadas se sentirán con derecho a tomarse la revancha. Si el bucle de refuerzo no encuentra ningún freno, puede llevar a una escalada de violencia y hostilidad mutua entre personas o incluso a guerras entre naciones.

(...)

Pongamos ahora un ejemplo de círculo vicioso: un ejecutivo sobrecargado de trabajo que no consigue concentrarse en un proyecto. La falta de concentración le lleva al error y a tener que repetir la labor, con lo que aumenta la sobrecarga de trabajo...



La presión de tiempo como bucle de realimentación de refuerzo

Realimentación de compensación

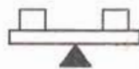
Nada es eterno. Tarde o temprano aparece el segundo tipo de realimentación y frena el crecimiento. Este tipo se denomina *realimentación de compensación*; se opone al cambio. Se produce un bucle de realimentación de compensación cuando los cambios en una parte del sistema generan cambios en el resto del sistema que reducen, limitan o contrarrestan el cambio inicial. Son los bucles que presentan resistencia al cambio y mantienen estable el sistema; sin ellos, la realimentación de refuerzo acabaría por romperlo.

En ocasiones se denomina «negativa» a la realimentación de compensación, pero se trata de una denominación confusa por dos motivos. En primer lugar, suele decirse que la crítica es la «realimentación negativa» y en segundo, la calificación de «negativa» sugiere que es perjudicial. La realimentación de compensación no es en sí misma ni mala ni buena, indica simplemente que el sistema se resiste al cambio. Esto puede ser un obstáculo o una ventaja, depende de lo que queramos hacer. Si lo que queremos es cambiar un sistema complejo, la realimentación de compensación aparecerá como «resistencia». Si lo que queremos es mantener estable el sistema, aparecerá como «estabilidad».

(...)

En nuestro organismo hay innumerables bucles de realimentación de compensación. Por ejemplo, la temperatura del cuerpo, que se mantiene estable. Una pequeña parte del cerebro denominada hipotálamo actúa como termostato del organismo. Cuando detecta una diferencia entre la temperatura que tenemos y la que deberíamos tener, activa los mecanismos que reducen esa diferencia. Gracias a otros bucles de refuerzo, el pulso, la presión arterial y la temperatura corporal se mantienen estables frente a los agentes externos; si no hubiera dependencia entre estos elementos, nos moriríamos.

Se establece un bucle de realimentación de compensación cuando surge alguna diferencia entre el estado del sistema en un momento dado y lo que el sistema necesita para equilibrarse. En este libro, utilizaremos el dibujo de una balanza para representar los bucles de realimentación de compensación:



(...)

La realimentación de compensación persigue un objetivo. Todos los sistemas tienen bucles de realimentación de compensación para mantenerse estables, por tanto, todos los sistemas tienen un objetivo, aunque sólo sea el de seguir como están.

La realimentación de compensación conduce el sistema hacia su objetivo. Una vez alcanzado, el bucle dejará de funcionar y el sistema se mantendrá en reposo o en estado de equilibrio.

La realimentación de compensación sirve también para reducir la diferencia entre dónde está un sistema y dónde «debería» estar. Siempre que haya diferencia entre el estado actual del sistema y el estado deseado, la realimentación de compensación desplazará el sistema en la dirección del estado deseado. Cuanto más cerca del objetivo se encuentre el sistema, menor será la diferencia representada por la realimentación y menor será el desplazamiento del sistema.

En consecuencia, todo sistema necesita una forma de medición; de lo contrario, no habría manera de saber la diferencia entre dónde se está y dónde se debería estar. Todo sistema necesita medir esa diferencia con exactitud, si no se correría el riesgo de activar los bucles de realimentación cuando no fuera necesario. Por ejemplo, si el termómetro de un termostato da lecturas imprecisas en unos cuantos grados, la caldera se activará con una temperatura errónea. (...)

Por otra parte, el sistema de medición debe medir con el grado de precisión apropiado para que el sistema funcione. Por ejemplo, si el termómetro de un termostato midiera los grados en centésimas, la caldera se encendería y se apagaría cada pocos minutos, ya que la

temperatura cambia imperceptiblemente cada vez que una persona entra o sale de una habitación. Si, por el contrario, el termómetro registrara únicamente los aumentos de temperatura en cinco grados, pasaríamos bastante frío hasta que llegara a encenderse la caldera. Todo sistema requiere una medición con el grado adecuado de precisión. (...)

Llevar el inventario de un negocio también genera un bucle de realimentación de compensación. Debe haber suficiente mercancía almacenada para satisfacer la demanda y que los clientes no tengan que esperar, pero no tanta que ocupe demasiado espacio y haya que pagar mucho en gastos de almacenamiento. La oferta y la demanda forman un bucle básico de realimentación de compensación en el conjunto de la economía. Cuando los bienes son escasos y la demanda es superior a la oferta, la realimentación reduce la demanda en dos sentidos: aumentando los precios o aumentando la oferta mediante las ventas y el marketing. Cuando la oferta es superior a la demanda, el bucle se activa y aumenta la demanda mediante la reducción de los precios o disminuye la oferta mediante la acumulación de reservas o las restricciones de fabricación.

Son muchos los bucles de realimentación de compensación que mantienen estable el medio ambiente. (...) Lo que pudiera parecer malo desde un solo punto de vista resulta en verdad necesario para mantener equilibrado el ecosistema. Por ejemplo, en las praderas son necesarios los incendios ocasionales. El fuego hace que germinen algunas semillas que, de otro modo, no lo harían, quema también la vegetación ya seca y en proceso de putrefacción, acaba con los retoños arbóreos e impide la entrada de especies vegetales intrusas que son menos tolerantes al fuego. A largo plazo, el fuego revitaliza las praderas. Parece que los ecosistemas necesitan una contienda para hacerse más fuertes.

También entre los animales hacen falta los depredadores para que el número de individuos de las distintas especies se mantenga estable. Los depredadores y sus presas forman un bucle de realimentación de compensación. Por ejemplo, los lobos canadienses cazan alces, ciervos y , caribús. En un invierno templado, con alimento suficiente, aumenta la población de ciervos. Sin embargo, su hábitat no puede soportar este aumento y, al cabo de los días, los ciervos empiezan a agotar sus fuentes de alimento. A medida que la población aumenta, empieza a haber también cada vez más ciervos viejos y enfermos. Esto es una buena señal para los lobos. Los ciervos son abundantes y fáciles de cazar, así que durante un tiempo los lobos se alimentan bien y engordan. Esto reduce el número de ciervos y acaban quedando únicamente los más rápidos y sanos. Entonces se invierten las tornas, cada vez es más difícil para los lobos encontrar presas; al poco tiempo, los lobos viejos y enfermos empiezan a morir, y se reduce la presión sobre los ciervos. Las fuentes de alimento del hábitat vuelven a regenerarse y el ciclo comienza de nuevo. Cuantos más ciervos, más lobos; a continuación, menos ciervos, en consecuencia menos lobos, y entonces más ciervos... Los lobos sirven para que la población de ciervos se mantenga en los niveles que el ecosistema puede soportar y después los ciervos les devuelven el favor a los lobos. Este es el «objetivo» de este particular sistema, aunque no coincida con el objetivo de un ciervo aislado ni de un lobo, en caso de que llegaran a plantárselo. Resulta cruel para cada individuo por separado, pero mantiene el equilibrio global de la naturaleza, de suerte que las dos especies consiguen sobrevivir.

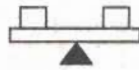
Si se altera el equilibrio natural, se genera un perjuicio tanto para los depredadores como para sus presas. Por ejemplo en la llanura de Kaibab, en Arizona, pueden vivir hasta 40.000 ciervos. En cierta ocasión, los cazadores con licencia dieron buena cuenta de los

depredadores naturales del ciervo (lobos, pumas y coyotes) y la población llegó a superar los 50.000 individuos. No había suficiente alimento para todos. En su desesperación, los ciervos devoraron toda la comida disponible, llegando incluso a roer la corteza de los árboles. Cuando ya no quedó nada, 40.000 ciervos murieron de hambre.

Tal vez la enfermedad sea otro ejemplo de realimentación de compensación. Cuando estamos cansados o sobrecargados de trabajo, tenemos más probabilidades de caer enfermos; entonces nos vemos obligados a descansar unos días, recuperamos las fuerzas y seguimos adelante. El estrés, que está demostrado que nos hace más propensos a caer enfermos, es una de las formas que tiene el organismo para indicar la diferencia entre su objetivo –nuestro bienestar– y el estado en que nos encontramos. La enfermedad nos obliga a descansar unos días para después reanudar nuestras ocupaciones con más bríos. Por tanto, ciertas enfermedades son una clase (no deseada) de realimentación de compensación.

La curación es otro ejemplo de realimentación de compensación. El cuerpo detecta una diferencia entre como se encuentra y cómo debería encontrarse, y actúa en consecuencia para reducir esa diferencia, ya sea mediante la coagulación de la sangre para cerrar y cicatrizar una herida o mediante la activación del sistema inmunitario para defendernos del antígeno que nos ataca.

Sin los bucles de realimentación de compensación los seres vivos no podríamos sobrevivir ni funcionarían las sociedades ni los ecosistemas. Son el pegamento que impide que nos rompamos en pedazos.



(...)

Proalimentación: regreso al futuro

La mayoría de las veces, la realimentación genera cadenas de causa y efecto en las que cada acción influye en la siguiente. Por ejemplo, la sed nos hace beber, y beber hace que sintamos menos sed. En la comunicación, lo que decimos genera la respuesta del que nos escucha, y su respuesta da lugar a la nuestra. Un descenso de la temperatura hace que el termostato active la caldera, lo cual lleva a un aumento de la temperatura, que hace que el termostato desactive la caldera. Así, las causas y los efectos forman círculos, y lo que era la causa desde un punto de vista se convierte en el efecto desde el otro. La causa del presente da lugar al efecto del futuro.

La *proalimentación* describe un curioso efecto, ligeramente distinto, de algunos tipos de realimentación: cuando el efecto anticipado del futuro, que todavía no ha tenido lugar, genera la causa del presente que, de no ser así, no se hubiera producido. Por ejemplo, cuando pensamos que vamos a fallar en algo, lo más habitual es que fallemos. Después de todo, ¿para qué intentarlo si es una empresa fallida? No cabe duda de que ser superticioso trae mala suerte. En cambio, cuando tenemos la esperanza de que vamos a superar algo, nuestra energía y optimismo se ponen a nuestro favor y hay más probabilidades de que lo logremos. Habremos puesto parte de nuestra parte.

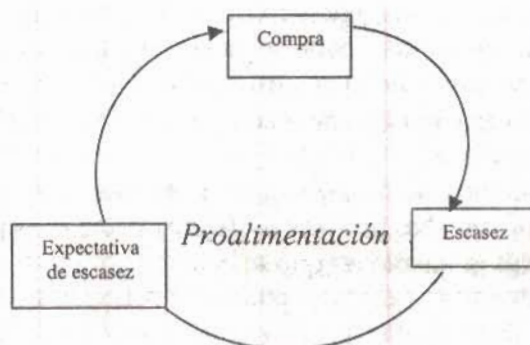
(...)

La proalimentación crea premoniciones que se cumplen. En el mercado de valores, el equivalente a «tienes que poner parte de tu parte» es el dicho de «dinero llama dinero». Corren rumores de que va a subir el valor de unas acciones. Antes de que las acciones hayan subido, los rumores atraen a los compradores y entonces las acciones empiezan a subir. Cuanto más suben, más compradores atraen. Ya se ha creado un bucle de refuerzo. Finalmente, los comentaristas del mercado de valores generan un bucle de compensación diciendo que las acciones están supervaloradas, los accionistas empiezan a vender y los precios caen.

Las previsiones sobre la escasez de cualquier tipo de producto funcionan de la misma manera. ¿Qué hace la gente cuando se dice que va a escasear algo? Sale a la calle y compra la mercancía de que se trata «por si acaso». Incluso se compra más de lo habitual para prevenirse de la escasez prevista, de manera que se crea así la escasez que ha causado alarma. (...) Cuando hubo problemas de suministro en las gasolineras, vimos el ridículo espectáculo de los coches en cola durante horas para llenar los depósitos «por si acaso», por si no podían llenarlos nunca más. Este comportamiento creó una escasez mucho más grave. El suministro continuo y regular de gasolina no está pensado para que todos los vehículos tengan el depósito lleno al mismo tiempo. (...) Las fuentes de suministro se agotarían y habría déficit de combustible hasta que el sistema estuviera preparado para responder a la nueva demanda.

El dinero es otro ejemplo. Si todos sacáramos a la vez el dinero de nuestras cuentas, el sistema financiero se vendría abajo. Si se dispara el rumor de que un banco no tiene dinero suficiente para afrontar sus deudas, los titulares de las cuentas correrían en masa a la entidad a sacar su dinero. El banco no tendría entonces dinero suficiente para pagar a todos, surgiría el pánico y el rumor llegaría a ser realidad. ¿Cuál es la causa y cuál es el efecto? Una pregunta imposible mientras pensamos en las causas y los efectos como cosas distintas y aisladas.

Un rumor puede ser totalmente infundado, una profecía puede ser una falacia y el profeta un charlatán, pero las predicciones pueden llegar a hacerse realidad, no porque sean previsiones razonables respecto al futuro sino porque el solo hecho de haberlas formulado modifica el futuro. Lo importante es que las personas *crean* en la profecía y *actúen* en consecuencia. Nuestras creencias conforman el futuro.



A veces la proalimentación tiene otra peculiaridad. Los propios esfuerzos que hace una persona para evitar algo acaban haciendo que eso ocurra. (...)

En el ámbito social ocurre que cuando una persona tiene muchas ganas de tener amigos y pretende hacerse amiga de todo el que conoce, acaba siendo rechazada, porque sus esfuerzos tienen algo de desesperados, de ansiosos, y generan más distanciamiento que atracción.

El insomnio es un ejemplo algo distinto. Supongamos que nos preocupa no poder dormir. Entonces «intentamos» dormir, pero cuanto más lo intentamos más difícil nos resulta. Y cuanto más nos cuesta, más nos empeñamos en conseguirlo. El empeño es lo que nos impide dormir y refuerza la idea de que nos va a costar trabajo dormir. Al final, la única manera de dormirnos es dejar de empeñarnos en conseguirlo.

En este tipo de proalimentación reside la explicación de la paradoja «sé espontáneo». Cuanto más empeño ponemos en hacer algo que sólo puede ocurrir espontáneamente, menos espontáneos somos. Podemos liarnos y liar a otros en conflictos irresolubles demandando un comportamiento que sólo tiene valor si es espontáneo.

La proalimentación puede llevar en ocasiones a predicciones contraproducentes. Esto ocurre cuando una expectativa o predicción de lo que va a ocurrir influye en el presente de tal manera que impide que llegue a darse en el futuro. Por ejemplo, decir a determinados atletas que van a perder puede producir el efecto contrario. Cuanto más se les dice, más se afianzan ellos en que van a ganar, y entonces llegan a la competición con una energía y una determinación tales que consiguen ganar.

Resumen de la realimentación y la proalimentación

- La *realimentación de refuerzo* se da cuando los cambios del sistema vuelven hacia atrás y amplifican el cambio original. Dicho de otro modo: el «efecto» del cambio refuerza la «causa» y amplifica el cambio. El sistema se desplaza cada vez más rápidamente del punto en el que se encontraba inicialmente.
- Esto puede dar origen a la *proalimentación de refuerzo*, cuando una predicción o anticipación de un cambio aparta el sistema del estado predicho, es decir, se produce una profecía contraproducente.
- La *realimentación de compensación* se produce cuando los cambios del sistema vuelven hacia atrás para oponerse al cambio original, de forma que amortiguan el «efecto». Dicho de otro modo: el «efecto» del cambio se opone a la «causa» del cambio. El sistema se estabiliza acercándose a un estado determinado: su objetivo.
- La *proalimentación de compensación* se da cuando la predicción o anticipación de un cambio produce el sistema hacia el estado predicho. Se trata en este caso de las predicciones que se cumplen.

1.- Razonamiento

Supongamos que empezamos enumerando los problemas que agobian al mundo en la actualidad, y que en *principio* se puedan resolver mediante la tecnología moderna.

Ante todo, tenemos la capacidad tecnológica para alimentar, alojar y vestir adecuadamente a todo habitante del mundo.

Tenemos, además, la capacidad tecnológica para proporcionar educación suficiente para que todos los habitantes de este mundo disfruten de una vida intelectual madura.

También, antes que nada, somos tecnológicamente capaces para proscribir la guerra e instituir sanciones sociales que impidan el surgimiento de una guerra ilegal.

En general, tenemos la capacidad para crear en todas las sociedades la libertad de opinión y la libertad de acción que minimice las restricciones ilegítimas que son impuestas al individuo.

En principio, podemos desarrollar nueva tecnología que libere nuevas fuentes de energía y fuerza para hacer frente a las emergencias físicas y económicas del mundo.

Incluso tenemos la capacidad para organizar a las sociedades del mundo actual para que produzcan o desarrollen planes bien elaborados para resolver los problemas de la pobreza, salud, educación, guerra, libertad humana y desarrollo de nuevos recursos.

Si el ser humano es capaz de hacer todas estas cosas, ¿por qué no lo hace? ¿Existirá algún atavismo perverso en la raza humana que haga que una persona sea indiferente ante los problemas apremiantes de otra? ¿Esencialmente tenemos un tipo de degradación moral que nos hace ignorar a nuestro prójimo a cambio del propio bienestar?

O bien, ¿existirá alguna razón más profunda o más sutil por la cual, a pesar de nuestra enorme capacidad tecnológica, aún no estemos en una posición como para resolver los principales problemas del mundo? Si repasamos el conjunto de problemas, un aspecto de ellos se hace bastante obvio: éstos se encuentran interrelacionados y a veces se sobreponen el uno con el otro. La solución de uno evidentemente tiene mucho que ver con la solución de otro.

Están en realidad tan interrelacionadas y se sobreponen el uno con el otro, que difícilmente se puede saber dónde se debe empezar. Por ejemplo, supongamos que hemos decidido que el primer problema que se deba resolver es el de alimentar, alojar y vestir a todo habitante del mundo. ¿Cómo debemos empezar a resolver este problema? Está presente allí la capacidad tecnológica. Podemos producir los alimentos necesarios para cumplir este objetivo, al igual que los materiales para la construcción que sirvan para dar alojamiento, así como la tela que servirá para vestir a cada persona. ¿Entonces, por qué no lo hacemos? La respuesta es que no estamos organizados para hacerlo. En otras palabras, el

último objetivo, desarrollar un conjunto de organizaciones que nos resuelvan los principales problemas del mundo, tendrá que resolverse inicialmente. ¿Es aquí donde debemos comenzar? ¿Por qué no simplemente organizamos el mundo para que se encargue de realizar las funciones de alimentar, alojar y vestir? Por ejemplo, ¿por qué los Estados Unidos no convocan a una conferencia en algún lugar pacífico del planeta con el fin de establecer y llevar a cabo un plan para alimentar, alojar y vestir a los habitantes de este mundo?

La respuesta a esta última pregunta es que a los Estados Unidos no se les tiene confianza para que sean el originador de estas conferencias. Muchas naciones temen su poder militar. Los Estados Unidos tienen capacidad para declarar la guerra en defensa propia siempre que crean pertinente hacerlo.

Esto significa que otro problema, en concreto el problema de la inseguridad del mundo ante una guerra justificada, tiene que resolverse primeramente. Tenemos que crear un mundo en que las naciones se tengan confianza una a otra de manera similar como los estados de Norteamérica se confían mutuamente. Por lo tanto, el primer problema a resolver es crear una política internacional que proporcione el ambiente para una conferencia mundial acerca de las soluciones de los problemas de la pobreza y del hambre que agobian de manera terrible a la humanidad.

¿Cómo podemos crear una política mundial satisfactoria, cuando un porcentaje tan elevado de la humanidad no tiene educación y por lo tanto desconoce los problemas fundamentales del mundo y su relación con él? La desconfianza siempre surge en el medio ambiente de la ignorancia. Uno no puede esperar crear una gran política internacional sin que se estructure un antecedente educacional en cada individuo, que permita que opine respecto a la manera como el mundo debe administrarse. Por lo tanto, el primer problema que se debe resolver es el de la educación. ¿Cómo debemos educar a las personas de este mundo de tal suerte que la amenaza de la ignorancia se aleje?

Pero, evidentemente, no existe ninguna forma adecuada para educar a un hombre que tenga hambre. Una educación adecuada descansa en la premisa de que la persona a quien se educa está siendo alimentada, cobijada y vestida adecuadamente, y que además se encuentra en perfecto estado de salud, tanto mental como físico. Por lo tanto, los primeros problemas que se deben resolver son los de la salud y la pobreza. Y de nuevo nos encontramos en otro punto de inicio.

En realidad parece ser que tenemos ante nosotros un dilema. Por un lado, sería extremadamente tonto que se ignoraran los problemas del mundo actual y, como se dice, enterrar la cabeza en nuestra propia pila de oro. Por otra parte, no parece que exista ni siquiera una manera adecuada de pensar acerca de los principales problemas del mundo en un sentido realista.

Pero pudiera ser que el verdadero problema radique en la manera en que empezamos a pensar acerca de los problemas. Empezamos a pensar acerca del problema enmarcado todas las cosas que podría lograr en principio gracias a nuestra tecnología maravillosa. Después de redactar esta lista, nos preguntamos: ¿Dónde debemos principiar; con la pobreza, con la salud, con la educación, o dónde? Es probable que el problema consistió en que no empezamos a pensar lo suficientemente pronto.

La lista que hicimos surgió de nuestra mente sin llevar a cabo un análisis previo de nuestra parte; se basó nada más en la recopilación de artículos, libros y pláticas acerca de estos problemas. Como consecuencia, buscábamos donde empezar en una lista que nosotros habíamos generado sin pensarla suficientemente.

Ahora, los especialistas en lógica nos dicen que cuando queramos resolver problemas debemos empezar con el proceso de razonamiento. De lo contrario, podemos perdernos completamente en la ruta de nuestra exploración, recurriendo al razonamiento demasiado tarde. Es algo parecido a un hombre extraviado que empieza a correr tan pronto ve el primer camino y permite que sus pies lo conduzcan una cierta distancia antes de que empiece a pensar de una manera lógica la forma de salir adelante en esta dificultad; pero entonces puede ser demasiado tarde.

1.1 Características del enfoque de sistemas

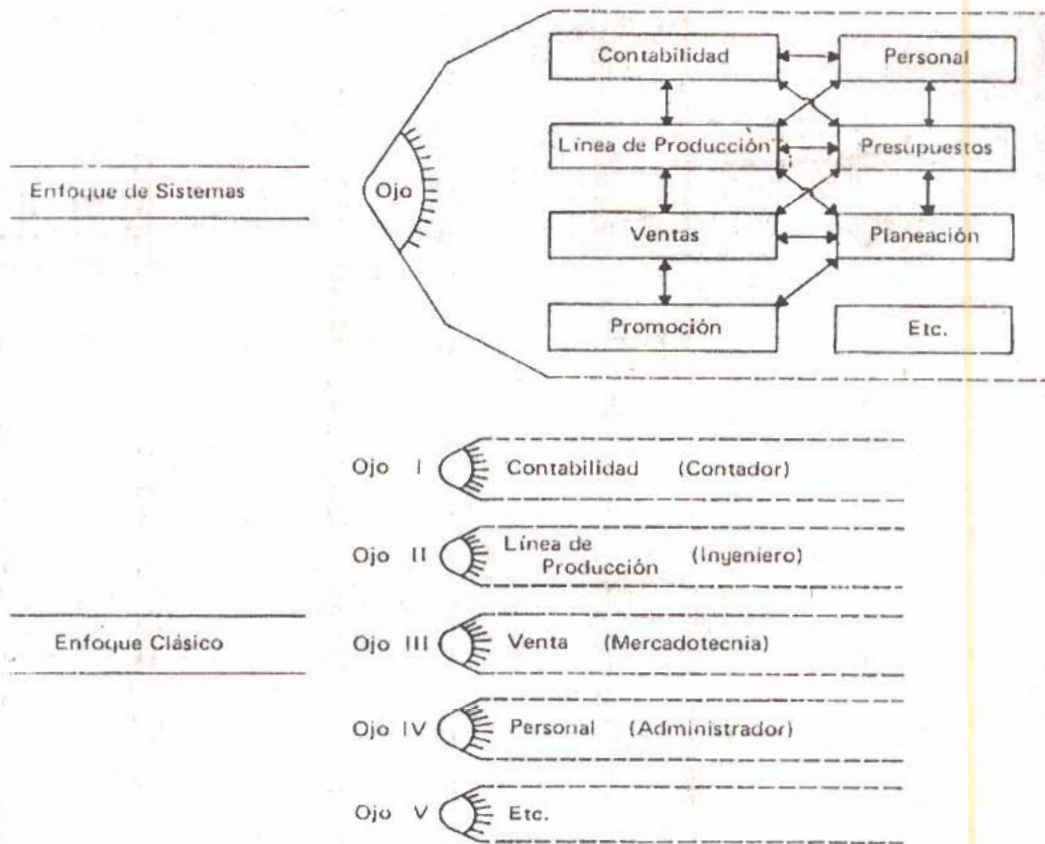
¿Qué es el **análisis de sistemas**? ¿Qué significa el **enfoque de sistemas**? Puesto que generalmente cualquier definición tiende a ser restrictiva, es conveniente describir lo que **no** es el análisis de sistemas y lo que el enfoque de sistemas implica en términos de sus características generales.

El análisis de sistemas (a menudo llamado **ingeniería de sistemas**, aunque no tenga una relación directa con el concepto de la disciplina ingenieril) no es un punto de vista o método de análisis disciplinario; esto es, el tipo de variables o aspectos de interés para el analista o ingeniero de sistemas no se limita al de una disciplina en todos los casos, como podrían ser los factores legales o administrativos de un sistema. El análisis de sistemas funciona no por actividades, sino por objetivos; es decir, su orientación y metodología tienden a diseñarse de acuerdo al objetivo del sistema, limitado por las características del ambiente general y por los recursos con que cuenta el sistema. Es falso decir que el análisis de sistemas es simplemente un instrumento nuevo, tal como la computadora o los modelos matemáticos. Tanto un experto en computación electrónica como un sociólogo experimentado pueden o no utilizar la metodología de sistemas; esto depende de su orientación y las necesidades del caso.

Al hablar de objetivos no se implica el uso de un programa rígido de actividades como característica básica de un proyecto, sino la aplicación de una **metodología** o estrategia general cuyas actividades específicas bien podrían ser diferentes de un caso a otro de acuerdo a las necesidades del sistema, aun cuando los objetivos del proyecto fueran los mismos en ambos casos. Esta metodología es la base fundamental para la implementación del análisis o ingeniería de sistemas (Cárdenas, 1974). Las características de esta metodología incluyen una orientación interdisciplinaria, en el sentido que generalmente el logro de uno o más objetivos en cualquier sistema requiere no sólo de un análisis legal, ingenieril, contable o administrativo, sino de la conjunción de éstos. La metodología de sistemas también tiende hacia la cuantificación de resultados, pues su énfasis en la objetividad de sus recomendaciones requiere tanto de las comparaciones cuantitativas entre alternativas como de análisis bajo bases comunes.

¿Por qué se dice que el análisis de sistemas implica un enfoque ingenieril que toma una perspectiva global en el estudio y solución de un problema, es decir, el enfoque de sistemas?

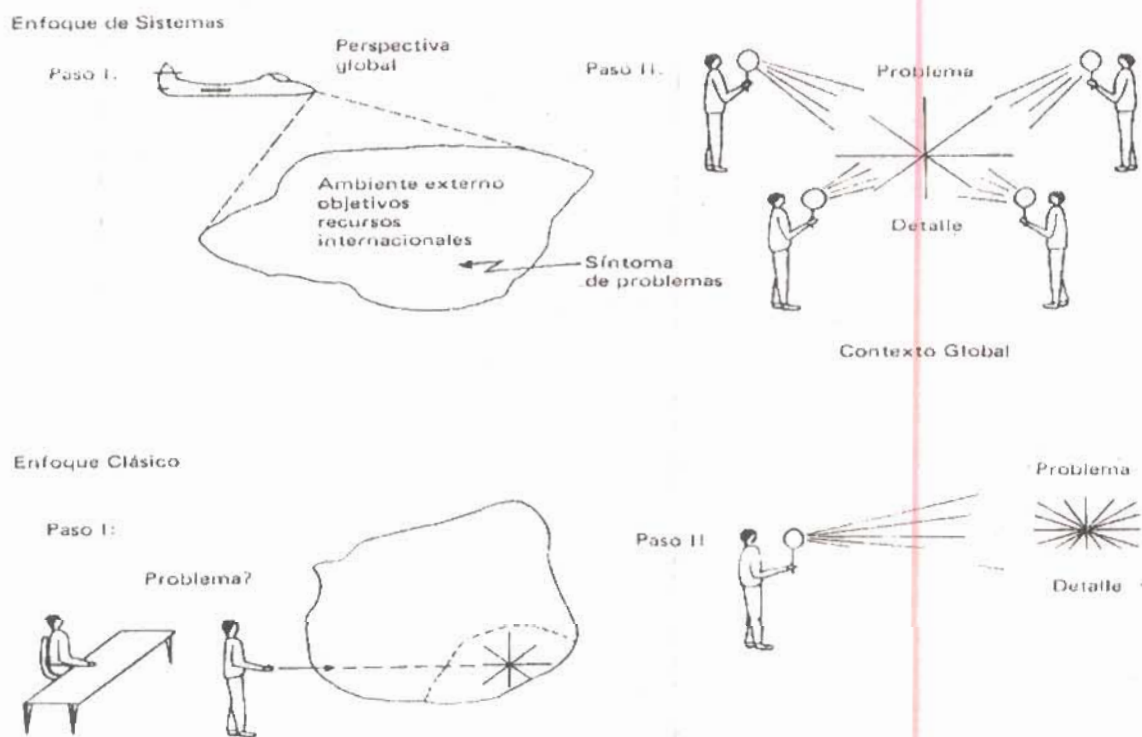
En primer lugar, se requiere un enfoque integral porque al utilizar simultáneamente (secuencial o independientemente) los puntos de vista de diversas disciplinas, se tiende hacia el análisis de la totalidad de los componentes o aspectos bajo estudio, así como de sus interrelaciones (dibujo 1-1). ¿Quiere decir esto que un ingeniero de sistemas nunca podrá trabajar solo, en ausencia de un grupo interdisciplinario de trabajo? La respuesta es afirmativa si nos referimos a la labor no sólo de análisis, sino también a la de implementación de soluciones. Churchman (1972) explica en detalle del concepto de sistemas, subsistemas y sus interrelaciones, por lo tanto no se repetirá aquí.



Dibujo 1.1 El enfoque integral de la ingeniería de sistemas vs el análisis disciplinario para el caso de una empresa.

En segundo lugar, el enfoque de sistemas tiende hacia la aplicación de una perspectiva global en el sentido que no aborda detalladamente un subsistema o aspecto específico del sistema si no cuenta previamente con un panorama del ambiente externo del mismo, sus objetivos, recursos y principales características (dibujo 1.2)

Esto último asegura la interpretación realista y evaluación de todos los efectos y repercusiones de un problema dentro del contexto del sistema al que pertenece, lo cual representa una garantía en cuanto a la permanencia y efectividad de las soluciones recomendadas por el análisis de sistemas. Por ejemplo, esto evitaría que un abogado diera por resuelto un problema simplemente porque los aspectos legales estuvieran ya en orden, a pesar de que las repercusiones económicas y humanas menos obvias fueran iguales o aun más graves. En tal caso, el análisis de sistemas también exigiría el estudio y solución de estos aspectos antes de aceptar que se cierre el caso.



Dibujo 1.2

Es necesario señalar aquí que el análisis de sistemas no es sólo un análisis desde un punto de vista o enfoque que implica sólo un proceso de estudio y diagnóstico, sino un procedimiento activo de implementación de soluciones; posiblemente, esta parte es la más crítica y representa un reto para el ejecutivo de hoy. Cada día mejoran más los instrumentos para la implementación de esta metodología y también es mayor la especialización que requiere su manejo; por lo tanto, es falso afirmar que se aplicó el análisis de sistemas a un problema sólo porque un grupo interdisciplinario de trabajo lo analizó desde una perspectiva general que influyó el estudio del contexto del problema y la definición de todos los elementos involucrados, así como de sus interrelaciones; pues definitivamente faltó la aplicación de técnicas específicas para la implementación de soluciones.

Estas últimas inquietudes nos llevan al tema de discusión que se presenta a menudo entre los "filósofos" y "científicos" de sistemas (Cárdenas, 1974 "El enfoque de sistemas vs las técnicas y herramientas de sistemas").

1.2 Enfoque vs. técnicas

Generalmente cuando se habla del tema de "sistemas" se plantean problemas semánticos debido a la falta de estandarización de la terminología. A nadie debe sorprender esto, ya que se trata de un tema "híbrido", aplicable universalmente (es decir, a todo tipo de problemas y situaciones), que utiliza conceptos y técnicas tanto clásicas como de reciente creación y aceptación. En la sección anterior se describieron algunas de las características del análisis (o "ingeniería") de sistemas. Entre las consideraciones presentadas se habló de "enfoque y de técnicas". ¿Qué se implica con estos términos?

Un enfoque es un punto de vista o estilo de observación, análisis o evaluación de un problema bajo cualquier situación dada. Por ejemplo, se habla del "enfoque" legal como una forma de ver los problemas sociopolíticos de una comunidad, el cual enfatiza la consideración y análisis de los reglamentos y leyes formales de la sociedad para la formulación de las recomendaciones para la solución. Asimismo, se podría hablar del enfoque "artístico", del "sociológico", etc., que representarían igualmente puntos de vista o perspectivas claramente diferenciadas. Sin embargo, sería difícil definir en términos exactos o cuantitativos todos los atributos y facetas de estos enfoques, pues no existe un reglamento o "definición" que los describa totalmente; sólo se pueden presentar indicaciones cualitativas y lineamientos generales. Este también es el caso del enfoque de sistemas.

No obstante lo anterior, un analista de sistemas jamás podrá ser realmente eficaz si no utiliza (consciente e inconscientemente) el enfoque de sistemas.

¿Como lograr esto? Quizá la única forma sea mediante el estudio de casos ilustrativos (cursos universitarios) o con experiencia práctica en el campo profesional.

Se puede decir que el enfoque de sistemas es la "espina dorsal" o estructura de análisis fundamental para el analista de sistemas. Partiendo de esta base, entonces se deberá pasar a la consideración de las técnicas o herramientas disponibles para la identificación, rediseño e implementación del nuevo sistema, si es que éste existe (como sería el caso de una empresa ya en operación); o para su planeación y desarrollo, si es que el sistema todavía no existe (como en el caso de un edificio que se desea construir).

¿Qué técnicas utiliza o debe utilizar el analista de sistema? Esta pregunta es fácil de contestar si es que no se requieren detalles. Por ejemplo, se puede afirmar que deberán considerarse en todo momento el mayor número de técnicas disciplinarias clásicas (cuantitativas y cualitativas) adecuadas al problema, así como toda la gama de técnicas nuevas en que se incluyen la investigación de operaciones, las ciencias de la computación, la ciencia de sistemas, etc.; pero el decidir cuáles de éstas y en qué orden se deben utilizar no es un proceso fácil de enseñar o sistematizar. Es obvio que entre más grande sea la cartera de técnicas que el analista de sistemas tiene disponible, mayor será la probabilidad de que su labor sea efectiva y razonable. Esta consideración es de vital importancia y necesidad en las esferas profesionales de hoy.

¿Se quiere decir con lo anterior que el analista de sistemas que no conoce la técnica de Rippl para el diseño de presas o embalses, así como otras herramientas del ingeniero civil especializado en el tema de recursos hidráulicos, nunca podrá aplicar el análisis de sistemas a esta importante disciplina?

Si el analista de sistemas trabajara solo y no con un grupo interdisciplinario (como ya se explicó), quizá lo anterior pudiera ser correcto; aunque también debe señalarse que si el analista fuera ingeniero civil especialista en recursos hidráulicos, además de su entrenamiento de sistemas, entonces su perspectiva como parte del grupo de trabajo sería sin duda mejor y su contribución posiblemente de más beneficio (dibujo 1.3). Ya que con cada nueva experiencia el analista de sistemas necesariamente está en contacto con el manejo de los conceptos y técnicas de una y otra disciplina, es claro que su criterio y cartera de herramientas se enriquecen día con día. Esta es una de las ventajas prácticas de la amplitud de aplicación del análisis de sistemas.

Debido a lo anterior se plantea la pregunta: ¿Qué es una técnica de sistemas? Ahora ya se puede afirmar que en general una técnica de sistemas es cualquier procedimiento sistemático (cuantitativo, de preferencia aunque no exclusivamente) que apoye al analista de sistemas en la implementación del enfoque de sistemas para el logro de una finalidad u objetivo. Se debe recalcar de nuevo que este procedimiento no necesariamente debe ser matemáticamente complejo o de reciente invención y aceptación.

1.3 Resultados del enfoque de sistemas

El resultado de la aplicación del enfoque de sistemas no es necesariamente una solución mágica. Como en el caso de otros puntos de vista o estrategias, todo depende de la efectividad de su uso y del tipo de aplicación. Si el problema es tal que el enfoque clásico disciplinario (de un ingeniero, administrador, etc.) se identifica y soluciona rápidamente, en este caso lo más probable es que el enfoque de sistemas sería más costoso ya que seguramente mediante un mayor y exhaustivo esfuerzo de análisis se llegaría al mismo resultado. Sin embargo, no es correcto pensar que siempre la mejor estrategia es solucionar los problemas reales en cuanto éstos surgen a nuestro alrededor. Generalmente es mejor evitar una enfermedad y no esperar a tener que curarla (aunque se tenga una buena medicina). A través de su perspectiva global, el enfoque de sistemas precisamente tiende a evitar problemas ya que permite mayores y más permanentes conocimientos de la

estructura y funcionamiento del sistema de interés, ya sea éste un edificio, una máquina o una institución. Por ejemplo, cuando se habla de una institución, el enfoque de sistemas no requiere la elaboración de un estudio o implantación de un cambio específico dentro de la misma, sino la revisión constante y la adaptación continua de la institución que permita minimizar problemas administrativos, técnicos, humanos, etc., para lo cual se requiere un grupo interdisciplinario permanente dentro de la organización. Por lo tanto, el resultado del enfoque de sistemas es un mayor rendimiento de recursos a largo plazo y un logro más efectivo de los objetivos que se persiguen.



Dibujo 1.3 Formación de un ingeniero de sistemas

A menudo se dice se dice que “dos cabezas piensan mejor que una”; esta idea se podría confundir con el concepto de trabajo interdisciplinario de grupo requerido por el enfoque de sistemas. Para ser realmente efectivo, este último requiere de una metodología; es aquí donde el dicho popular podría ser falso, pues a veces también no damos cuenta de que “es mejor hacer las cosas solos que con grupos sin organización, coherencia o estrategia de trabajo”.

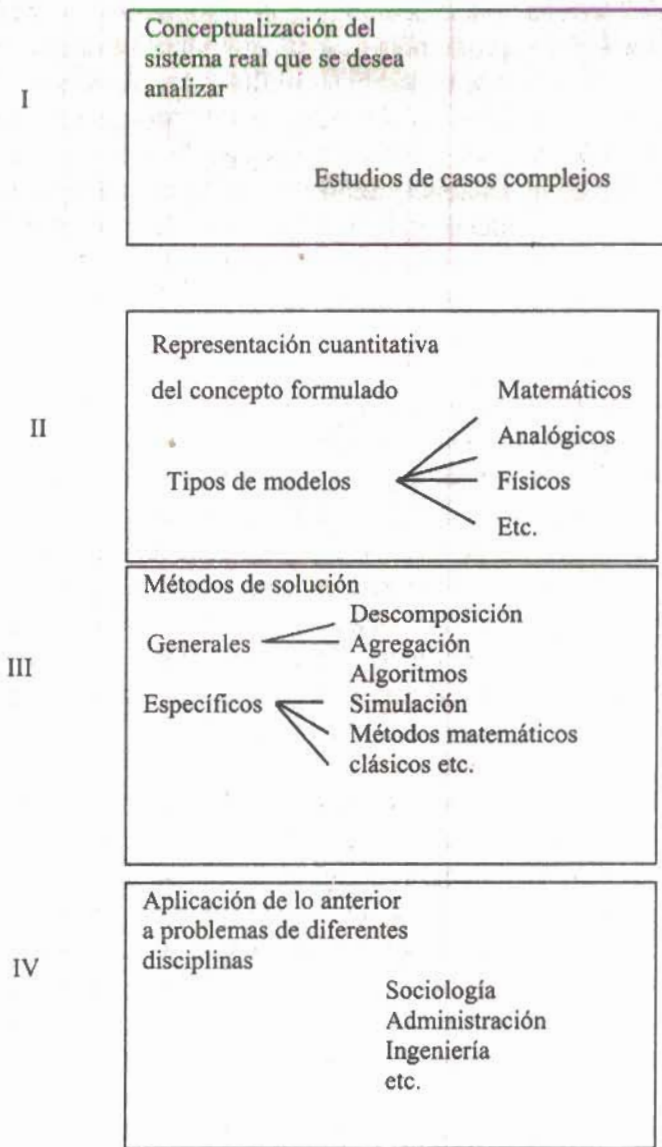
La metodología de la ingeniería de sistemas es, entonces, la base fundamental para lograr resultados; y consiste de todas aquellas herramientas que permitan la conjunción de diferentes puntos de vista disciplinarias dentro de un marco “de sistemas”. Este marco de acción es el tema de discusión del siguiente capítulo. Las herramientas de esta metodología no son necesariamente muy complejas (modelos matemáticos, computadoras, etc.), tampoco se pueden clasificar en el marco de alguna disciplina o a través de sus características comunes. Sólo se puede afirmar que las técnicas de sistemas son aquellas que utilizan el marco de acción anterior.

Por otro lado, el enfoque de sistemas provee también una capacitación única a cualquier especialista, pues le da criterios para poder comprender mejor otros puntos de vista, además de agregarle a su cartera de herramientas una serie de técnicas nuevas, tales

como los conceptos de agregación, descomposición y otros. Este beneficio educativo es una de las razones del por qué los programas académicos interdisciplinarios y de sistemas han proliferado dentro de los currícula universitarios alrededor del mundo. Se puede decir que esto tiene particular importancia en países en desarrollo, donde ya es insostenible social y económicamente el resultado de formar profesionales no adaptados a la realidad empresarial y gubernamental nacional, debido a la "sobre-educación" o a la educación demasiado especializada. En muchos países latinoamericanos empiezan ya a aprovechar en forma organizada los numerosos avances de la ingeniería de sistemas, mediante nuevos programas de estudio tales como los de informática, ciencias administrativas e industriales, etc.

Al hablar de los resultados del enfoque de sistemas se implica la implementación de la ingeniería de sistemas. Actualmente es bien conocido el cuerpo de técnicas cuantitativas frecuentemente llamado "investigación de operaciones", inclusive ya se ha instalado un creciente número de grupos de trabajo dentro de una gran variedad de empresas y dependencias gubernamentales, los cuales han empleado una porción significativa de los recursos humanos con educación avanzada en ciertas técnicas de sistemas. Sin embargo, sólo en muy raras ocasiones estos grupos han vencido la "barrera" del ejecutivo y realmente han servido como apoyo en la toma de decisiones o en el desarrollo integral de la empresa, y no sólo como un grupo para estudios específicos de automatización, modelos matemáticos, etc.

¿Es esto resultado de la falta de educación del ejecutivo actual? Aunque en general éste es el caso, se puede afirmar que una gran parte del problema se debe a la falta de un marco de acción o metodología integral que permita ubicar el uso de estas técnicas dentro de la realidad y propiedades de la organización. Después de todo, sólo en muy raras ocasiones se da la coincidencia de una situación dentro de una empresa en que todo está listo para aplicar directamente un modelo matemático de programación lineal (por ejemplo: para la asignación de recursos económicos), y en esas raras ocasiones, antes que nada, se deberá evaluar la prioridad que esta aplicación tenga dentro del conjunto de necesidades diversas de la empresa; es decir, quizá en otro lugar dentro de la empresa existe un problema humano de más importancia y cuya solución es de extrema urgencia. Conforme a la ubicación de los diferentes componentes de la empresa (o sea, el sistema, sus interacciones y las prioridades del mismo) para que la solución de problemas específicos no sólo sea un parche con posibles efectos negativos a mediano y largo plazo, en esa medida se aplicará el espíritu verdadero del enfoque de sistemas y se obtendrán los resultados inmediatos de este poderoso punto de vista interdisciplinario (dibujo 1.4)



Dibujo 1.4 Secuencia lógica de los aspectos básicos de un programa académico a nivel graduado de "Ingeniería de Sistemas"

1.4. Perspectivas sobre otros enfoques

Es fácil limitar la visión de la realidad circundante a una lente o filtro disciplinario. De hecho, tradicionalmente la educación superior había venido promoviendo la formación de mentalidades ingenieriles, administrativas, etc. Nadie puede negar que generalmente un licenciado en derecho ve un mundo económico, social y político diferente al que ven un doctor en medicina, un sicólogo, etc.

Lo anterior significa que en años pasados el ambiente ha estado dominado por una fuerza de trabajo profesional de tipo multidisciplinario; es decir, por conjuntos de

individuos o grupos expertos en diferentes temas y actividades. De esta manera se han desarrollado grandes empresas, se han resuelto graves problemas económicos y sociales, y es así como sigue creciendo gran parte del mundo desarrollado actual. Sin embargo, las recientes crisis regionales, tales como las de energéticos, población y alimentos obligan a aceptar que los recursos no son ilimitados y que inclusive las sociedades más ricas del mundo moderno no sólo deben limitar su meta de crecimiento (en el sentido económico), sino hacer el uso más eficiente del mínimo posible de recursos.

A nivel de competencia comercial y profesional, cada día se hace más imprescindible la conjunción de puntos de vista disciplinarios que generen técnicas y soluciones más efectivas y permanentes, pues ya no es suficiente lograr soluciones, sino se requieren las "mejores soluciones". Esta conjunción de disciplinas debe lograr algo más que la suma directa de diferentes puntos de vista: una nueva visión integral de conjunto que permita obtener realmente más beneficio de los que se esperarían si diversos especialistas realizaran independientemente sus tareas y al final se unieran para presentar los resultados simultáneamente. El "traslape" de enfoques disciplinarios que se requiere para ello es lo que aquí se llamará carácter interdisciplinario (y no multidisciplinario) del enfoque de sistemas.

Se puede decir que casi cualquier individuo con libertad de pensamiento es un ejecutivo o tomador de decisiones. Es obvio que si no se trata de un individuo, sino de una empresa que consiste no sólo de uno o más individuos, sino de una serie de recursos económicos, físicos, etc., la toma de decisiones requiere de un mayor número de consideraciones más complejas. En este caso se dice que el ejecutivo es el gerente, jefe de departamento o director, representado por una persona, pero la realidad no es ésta. El ejecutivo de hoy en día requiere de gran precisión en cuanto al tipo de información que recibe, necesita también de un ambiente ecológico propio para su labor (la toma de decisiones, etc.), y todo esto, en conjunto, es lo que se debe definir como "el ejecutivo". Nótese la necesidad de aplicar una mentalidad o punto de vista interdisciplinario, pues su problema no es la instalación del sistema contable, la definición de su organización, el diseño de su línea de producción, el control de su personal o cualquier otro problema específico, sino el uso óptimo de todos los recursos a su alcance para la maximización de las utilidades. Esto último implica el control efectivo de una gran variedad de factores de tipo disciplinario.

De lo anterior, se deduce que el enfoque de sistemas no es un producto tecnológico de reciente creación, pues cuántos ejecutivos empresarios y del sector público de gran éxito han existido en años pasados. Lo que sí es cierto es que la gran mayoría de estos "genios" han sido intuitivos, y sus métodos de razonamiento, en gran parte cualitativos y difíciles de sistematizar. A esto se debe que el enfoque de sistemas utilizado por estas personas "excepcionales" no se podría enseñar en un salón de clases o en un laboratorio técnico; por lo tanto, durante muchos años no hubo posibilidad de poder divulgar las características de este enfoque y las estrategias para su implementación. La necesidad es la fuerza motriz de logro más poderosa que existe y, una vez más, ésta fue la que propició el desarrollo de técnicas sistemáticas, ya que la escala y complejidad de los problemas y las organizaciones

actuales han sido el principal factor para el fomento de la interdisciplina y la aplicación del enfoque de sistemas (Cádenas, 1974).

El enfoque de sistemas representa beneficios concretos para quien toma decisiones, debido a que le permite evaluar y jerarquizar problemas con criterios cuantitativos y sobre bases comunes. Se puede decir que este enfoque, lejos de poder compararse con un enfoque disciplinario en plan de sustitución de éste, sólo tiende a estructurar el uso de una serie de técnicas y herramientas clásicas y algunas nuevas con el propósito de ayudar a quien toma decisiones (sea un individuo o un ejecutivo de una empresa) a satisfacer más "eficientemente" sus objetivos; y no sólo en el sentido económico como a menudo se malinterpreta. Es imperativo estandarizar el concepto representado por el enfoque de sistemas, pues es triste ver cómo aún un gran número de profesionales se mantienen al margen de este enfoque porque creen que al hablar de sistemas se implica directamente el uso desmedido de la computadora o de técnicas matemáticas teóricas. Esto ayudaría a un mejor entendimiento y aplicación de los beneficios reales de este concepto, así como también evitaría la distorsión o subestimación de las ventajas y beneficios de los enfoques y métodos clásicos ya comprobados en diferentes disciplinas y usualmente atacados por principiantes fanáticos del enfoque de sistemas. Esta labor de estandarización requiere la divulgación de los aspectos claves de este enfoque (la interdisciplina, la insistencia en criterios cualitativos, la perspectiva integral de los componentes del sistema y sus interacciones, etc.) en los principales centros académicos y áreas profesionales actuales. Sorprendentemente, durante los últimos cinco años esto se ha logrado con mucho entusiasmo en numerosos países en desarrollo (tales como México, Venezuela, Brasil y Chile), con el liderazgo de sociedades profesionales tales como las de ciencias de computación, ciencias administrativas y otras.

Por otra parte, existe el peligro de que una mentalidad interdisciplinaria, sin intereses específicos o preferencias de tema, tienda hacia lo que clásicamente se llamaría la "superficialidad" de conocimientos; lo cual sería digno de criticarse severamente con el conocido refrán de que "el que mucho abarca, poco aprieta". Sin embargo, la ingeniería de sistemas no implica una visión superficial de las cosas, ni tampoco advoca el trabajo individual en la aplicación del enfoque de sistemas, sino la visión de un grupo de especialistas en varios temas, trabajando en conjunto. Esto último asegura no caer en el problema antes mencionado, pues con los especialistas involucrados se tiene la capacidad de detallar o profundizar en cualquier momento de acuerdo a la jerarquización de áreas-problema y la asignación de prioridades a través de la perspectiva global del grupo.

Lo anterior significa que la ingeniería de sistemas y su enfoque no se pueden definir como una profesión que abarca necesariamente los conocimientos de varias disciplinas tales como administración, economía, computación, ingeniería, leyes, etc., más bien esto es consecuencia natural de la práctica de la ingeniería de sistemas y el trabajo interdisciplinario que requiera. El cuerpo de conocimientos que define esta tecnología llamada ingeniería de sistemas vendría a ser no sólo las contribuciones de las disciplinas clásicas, sino las de las nuevas herramientas y metodologías tales como los modelos matemáticos, la computación y el propio concepto de la interdisciplina.

EL ENFOQUE DE SISTEMAS
Estrategias para su implementación
Dr. Miguel Ángel Cárdenas
Editorial Limusa

2.1 Etapas desconocidas

En la actualidad, a la gran mayoría de los profesionales y técnicos en sistemas se llama "analista", debido a que después de estudiar y analizar un problema, proceden a la utilización de alguna técnica de "sistemas" para su solución. De esta manera surge la confusión entre el análisis sistemático o científico de un "analista de sistemas" y el análisis o enfoque de sistemas de un verdadero ingeniero de sistemas. El primero puede ser de tipo disciplinario, pero no el segundo. Un análisis que utiliza el método científico en general no es sinónimo de un verdadero análisis de sistemas. ¿Cómo se lleva a cabo este último? ¿Cómo se diseñan las etapas involucradas y con qué recursos? Estas etapas "desconocidas" son el tema de este capítulo.

El primer requisito fundamental para iniciar la implementación de un análisis de sistemas es la formación de un grupo interdisciplinario de trabajo. Si la institución que se pretende desarrollar existe ya, una parte del personal debe provenir de la misma. Si se pretende crear la instalación, es conveniente que se escoja una parte del grupo para que eventualmente éste se quede dentro de la institución ya en su etapa de operación normal.

Una vez realizado lo anterior, la primera etapa del análisis es la definición del **ambiente** dentro del cual el sistema se desarrollará. Ésta no es una labor trivial, pues requiere de la identificación de una serie de factores cualitativos por medio de criterios no necesariamente bien definidos. Por ejemplo, aquí se habla de factores "positivos" y "negativos" del ambiente, aspectos "costosos" y "no-costosos", variables "controlables" y "no-controlables", parámetros importantes y "no-importantes", etc.; todos estos adjetivos se refieren al objetivo del sistema, el cual aún no está bien definido.

Esta primera etapa proporciona al grupo interdisciplinario la perspectiva o marco de referencia dentro del cual se desarrollará el sistema, con lo cual se establecen las bases para definir las "fronteras", alcances u objetivos del mismo, que integran la segunda etapa. Los objetivos del sistema ahora deben ubicarse dentro del ambiente identificado, pues sólo así éstos se podrán definir en términos realistas y concretos. No se trata aquí de establecer estos objetivos con fórmulas matemáticas, sino de describir sus características en términos de factores del ambiente ya identificados, definiendo de esta manera la relación entre este último y el objetivo global del sistema que va a ser diseñado. Generalmente el proceso de

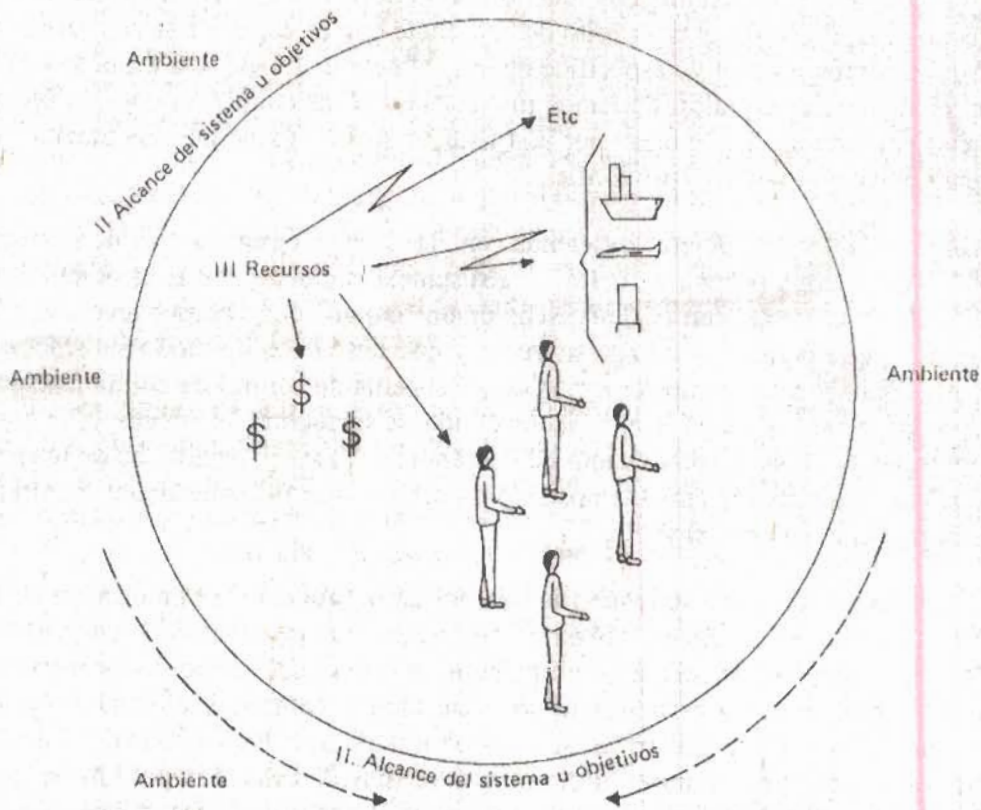
definición de objetivos requiere de una estrategia de realimentación hacia el paso anterior; es decir, se deberá revisar una y otra vez el análisis del ambiente hasta lograr comprender su dinámica, la cual es aplicable a los objetivos deseados, pues ésta condicionará externamente al sistema que se a diseñar.

Una vez lograda una visión clara del ambiente externo y alcances del sistema, se procede a la tercera etapa: la definición de los recursos del sistemas. Al definir los recursos con que se cuenta o se contará en el futuro (dependiendo de si se modificará el sistema existente, o si no existe y se creará), se establecen las restricciones básicas del sistema. Por ejemplo, si los recursos humanos disponibles para el sistema sólo tienen entrenamiento administrativo, es obvio que no se podrá pensar en la formación de una empresa de tipo ingenieril: si los recursos económicos son limitados, no se podrá pensar en la creación de una industria pesada, etc. Los recursos del sistema pueden clasificarse de varias formas, según el objetivo; se podría hablar de recursos físicos (inmuebles, etc.), económicas, humanas, tecnológicos, etc., y de características tales como disponibilidad, costo, tipo y otros.

A causa de las restricciones identificadas en la etapa de definición de recursos, es frecuente que se requiera modificar el objetivo definido en la etapa anterior. Este proceso es lógico debido a la relación que hay entre el cumplimiento de un objetivo y los medios (o recursos) disponibles para ello. En un momento dado se puede definir un objetivo de gran envergadura y costo, pero no se logrará si no se cuenta con los recursos apropiados, por lo tanto, sólo será un concepto abstracto sin relevancia práctica. Bajo tales condiciones, algunas veces es difícil diferenciar entre un objetivo y una restricción, por ejemplo, el logro de un nivel mínimo de costos mensuales en una línea de producción podría considerarse como una restricción de "no bajar" de un monto mensual de costos. Aunque existen muchos criterios cualitativos para hacer una decisión, en este caso puede decir que se deberán considerar como parte del objetivo sólo aquellos conceptos definidos durante la segunda etapa del proceso de análisis, cuyo logro tenga especial importancia para la totalidad del sistema.

La cuarta etapa es la integración conceptual de los tres elementos anteriores: ambiente, objetivos y recursos. Esto significa que en esta etapa se deberán identificar y analizar las interacciones entre dichos elementos, ya que esto hará posible un mejor entendimiento del futuro funcionamiento del sistema y asegurará la consistencia del mismo, o sea, que los objetivos puedan alcanzarse dentro de las restricciones del ambiente y que los recursos definidos realmente contribuyan al logro de los objetivos (dibujo 2.1). Esta tarea de integración podría requerir el uso de un procedimiento matemático, por ejemplo, una simulación matemática, o de un análisis cuantitativo pero sistemático, v.g., el método Del-Phi (Rappaport, 1970) con los miembros del grupo interdisciplinario, dependiendo de la complejidad del sistema, costo involucrado, etc.

El cumplimiento efectivo de las cuatro etapas descritas es una base sólida para la representación conceptual del sistema, o sea, su modelación, lo cual constituye el tema de la siguiente sección. Frecuentemente se da el caso que el análisis realizado antes del proceso de modelación en sólo una evaluación superficial de la necesidad del sistema, de sus posibles características físicas y económicas y de los requerimientos humanos; por lo general, estos conceptos no se pueden definir realísticamente sin antes haber identificado los elementos de las cuatro etapas mencionadas. Tal procedimiento es totalmente antisistemas.



IV. Interacciones entre elementos

Representación abstracta de los cuatro elementos básicos para iniciar la implementación práctica del enfoque de sistemas.

1.- Razonamiento (continuación)

Supongamos que contrastamos nuestro razonamiento acerca de los problemas del mundo con un conjunto de pensamientos mucho más específicos acerca del desarrollo de un tipo de tecnología, digamos, el desarrollo de un cohete que es capaz de enviar un objeto a la Luna. Aquí tenemos el objetivo específico de hacer llegar un objeto a la Luna dentro de ciertas restricciones presupuestales. Podemos iniciar nuestro razonamiento con el *objetivo central* y luego empezamos a preguntar por una lista de subobjetivos que obviamente son requeridos para obtener el objetivo primordial.

Si queremos que un objeto descienda en la Luna, entonces, evidentemente, necesitamos: 1) un sistema propulsor, o sea, una sustancia capaz de enviar el objeto fuera del campo gravitacional de la Tierra; 2) el diseño de un "pájaro" que volará hacia la Luna y el cohete impulsor que permita que haga su vuelo y que descienda de modo satisfactorio. Evidentemente, también necesitamos tener: 3) un subsistema de control de comunicaciones que permita a las personas de la Tierra saber dónde se encuentra el objeto y, si fuera necesario, controlar su vuelo y saber cuánto ha descendido. Y, si el "pájaro" ha de tener un habitante terrestre, entonces obviamente nosotros tendremos que (4) seleccionar y entrenar a una o más personas que hagan el vuelo.

Este conjunto de cosas que se requeriría para lograr el propósito de colocar un objeto terrestre en la Luna no es suficiente. Sabemos que tendremos que pedirle a un grupo de personas que desarrolle un subsistema de propulsión, el diseño del pájaro, los subsistemas de cohetes de propulsión, el subsistema de comunicación y control, y el subsistema del astronauta. Tenemos que crear directrices que nos permitan hacer bien el trabajo. En otras palabras, para cada subsistema vamos a necesitar una medida de actuación del subsistema y el nivel deseado de actuación que habremos de llamar el "estándar" para el subsistema. Esto significa que tendremos que decirle al ingeniero que necesitamos un propulsor capaz de levantar un determinado peso y un tipo de "pájaro" fuera de los límites gravitacionales de la Tierra. Tendremos que decirle también acerca de la cantidad de dinero que nosotros podremos gastar para crear tal propulsor. Si le decimos estas cosas con claridad, entonces él podrá ser capaz de medir la potencia de un propulsor determinado, y nosotros podremos estar capacitados para decidir si el propulsor que él ofrece cumple con el estándar deseado. Esto significa que podremos llegar a determinar si un subsistema está de conformidad con el estándar. Si así fuere, entonces estaremos en situación de aceptarlo y utilizarlo en el sistema total; ni no, sabremos que debemos tomar otros pasos para desarrollar un subsistema hasta el nivel que nosotros deseamos.

Sin embargo, esto no es todo. No tenemos todo el tiempo que uno desea para el diseño del subsistema. En realidad, debemos crear conciencia en el sentido de que si algunos de nuestros esfuerzos son dilatados, entonces algunos de los otros esfuerzos serán una pérdida de tiempo. Si va a tardar diez años el desarrollo de un propulsor adecuado, entonces sabremos que no debemos preparar astronautas altamente entrenados para volar el próximo año, ya que para cuando el propulsor esté debidamente desarrollado, los astronautas estarán muy viejos para volar. Por lo tanto necesitamos un plan que haga que cada subsistema alcance el estándar en el momento deseado, de tal manera que el esfuerzo total de desarrollo se desenvuelva con toda fluidez y así impedir que haya alguna pérdida seria por retraso.

Pero debido a que nunca podremos estar seguros que un determinado conjunto de planes o aspiraciones dará resultados satisfactorios, necesitamos algo adicionalmente: establecer los pasos explícitos que tendremos que tomar en caso que los planes fracasen. Éste es probablemente uno de los aspectos más cuidadosos en el enfoque del sistemas referentes a diseño y planeación. Quienes planean, generalmente están demasiado optimistas acerca del éxito, de tal manera que al ocurrir un fracaso no están preparados para tomar las medidas necesarias, debido a que nunca tomaron en cuenta esta posibilidad con anterioridad. En otras palabras, para reiterar el punto, *cuando usted pospone razonar acerca de algo por mucho tiempo, puede transformarse en algo totalmente imposible llegar a razonar sobre ello de manera adecuada.*

Si, por último, en el plan de desarrollar un sistema para colocar un objeto en la Luna, incluimos como un componente las actividades que determinan el objetivo general y la justificación de cada uno de los subsistemas, las medidas de actuación y estándares en términos del objetivo general, entonces el conjunto completo de subsistemas y sus planes y sus medidas de actuación constituirán un "enfoque de sistemas" al problema de colocar un objeto en la Luna. Al último elemento que determina los objetivos generales y que relaciona los estándares del subsistema con el todo puede llamársele "el subsistema de la administración". Es el subsistema que considera el plan general y que implementa su razonamiento. Si el subsistema de la administración funciona adecuadamente, su razonamiento sigue un proceso continuo, piensa en todo momento acerca de la relación del objetivo general con sus elementos. No se pone a pensar hasta tanto se haya presentado la crisis. No inicia enumerando un conjunto de cosas que desea hacer, sin molestarse en pensar por qué las desea hacer. Cada paso del plan se justifica en términos del objetivo general. Esto no significa que su razonamiento es rígido y cerrado, debido a que un razonamiento rígido y cerrado también es un razonamiento inapropiado. Considera cómo se debe actuar cuando ocurra algo inesperado. Por supuesto, el subsistema de administración puede fallar debido a que ningún razonamiento será siempre perfecto. Pero si este subsistema se encuentra funcionando de manera correcta, nunca lo culparán de fallar por haber ahorrado pensar en hechos imaginables.

¿Ayudará mucho este tipo de razonamiento, acerca del sistema completo, a modificar nuestra actitud hacia los problemas mundiales actuales?

Bueno, en principio podemos observar una característica sobresaliente de nuestra decisión anterior. Además de enumerar un conjunto de problemas que quisiéramos resolver, sin pensar mucho acerca de la lista, es evidente también que muchos de los problemas, incluidos en la lista por sí solos, no tienen mucho sentido.

¿Realmente deseamos vestir, alojar y alimentar a todas las personas en este mundo? O sea, ¿deseamos hacer esto independientemente de que otras cosas sucedan? La Alemania Nazi desarrolló un plan para alimentar, alojar y vestir adecuadamente. Su primer tarea, señalaron, era eliminar a todos los tipos de personas "indeseables" de la sociedad; por ejemplo, judíos, y así reducir la magnitud total de su trabajo, así como también eliminar cualquier oposición en contra de los planes del Estado. Por lo tanto, el Estado nazi desarrolló un subsistema que trabajó para eliminar a todas las personas sociablemente indeseables, o sea, aquellas que estuvieron enfermas mental o físicamente, o aquellas que parecieran ser una amenaza al plan de Estado.

La medida de actuación de este subsistema es la capacidad para llevar a cabo la eliminación, siendo un plan bien trazado por el Estado aquél en que se fije un estándar para el subsistema. Si este subsistema se comporta adecuadamente, entonces el Estado podrá avanzar hacia su objetivo, lográndose de una manera eficiente el objetivo general de alimentar, alojar y vestir.

Pero nosotros no deseamos alimentar, alojar y vestir al mundo de esta manera. Lo deseamos hacer sujeto a las condiciones de crear una sociedad libre. No creemos que la manera de resolver el problemas de las enfermedades mentales o físicas sea la eliminación de los enfermos mentales o los físicamente enfermos.

¿Qué es lo que deseamos lograr? ¿Podemos en realidad señalar un objetivo que sea tan fundamentalmente claro como la finalidad de que descienda un objeto en la Luna, sujeto a restricciones de presupuesto? O bien, ¿se está perdiendo tontamente el tiempo pensando en estos términos acerca de los objetivos de los habitantes de este mundo?

Muchas personas recordarán que durante la Segunda Guerra Mundial los dos grandes líderes de las naciones de habla inglesa, Roosevelt y Churchill, se reunieron en cierto lugar en el Océano Atlántico y anunciaron las "cuatro libertades". Si bien la declaración de parte de estos líderes fue indudablemente una inspiración, es evidente que estaba carente de todo enfoque de sistemas para la resolución de los problemas mundiales, simplemente porque fracasaba en establecer la manera en que pudiéramos pensar en forma adecuada cómo empezar. Fracasaba hacerlo, debido principalmente a que no señalaba en forma precisa los objetivos que pudieran guiar a alguien a pensar en cómo empezar.

EL ENFOQUE DE SISTEMAS
Estrategias para su implementación
Dr. Miguel Angel Cárdenas
Editorial Limusa

2.2 La conceptualización de un sistema

Ya definidos los principales elementos de un sistema, se pasa a la fase de modelación, es decir, a la representación conceptual de esos elementos. Existen muchas técnicas y estrategias de modelación (matemáticas, analógicas, físicas, digitales, etc.) y una amplia literatura al respecto (ver bibliografía). Aquí se pretende describir no tanto estas técnicas, sino construir el tipo de conceptos (o representaciones parciales) que podrían formularse para definir un modelo generalizado que prácticamente se pudiera aplicar a cualquier realidad.

¿Cuáles podrían ser estos conceptos? Se proponen cuatro en particular:

- a) Estructura organizacional
- b) Flujos de información
- c) Procedimientos
- d) Ambiente de decisión.

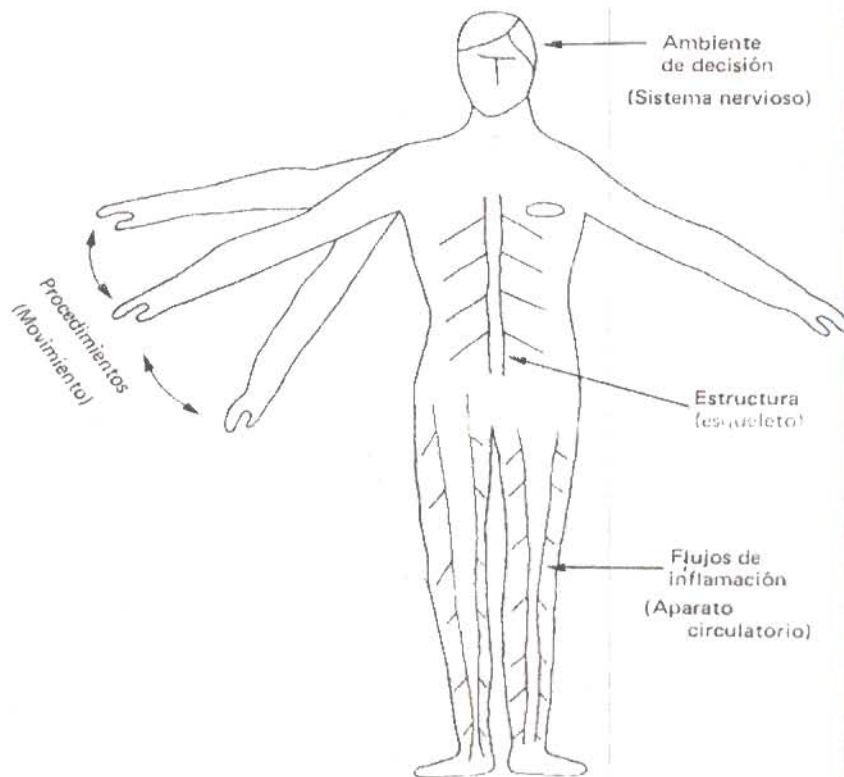
Cada uno de estos conceptos se deberá definir en términos de variables a parámetros específicos de acuerdo a la orientación que se le desee dar al modelo (ya sea el tipo de sistema o por los objetivos del análisis).

El concepto de estructura organizacional se refiere al "esqueleto" o estructura orgánica del sistema; es decir, en el caso de una institución o una empresa, incluirá variables tales como: la definición y documentación de puestos (objetivos, funciones, actividades y políticas), personal, definición de líneas de autoridad formales e informales y, en general, todo lo que frecuentemente aparece en organigramas y otros "modelos" ya conocidos de este concepto.

Si se hablara del cuerpo humano, el cual posiblemente es uno de los sistemas más complejos que se conocen, este concepto se podrá definir en términos del esqueleto o estructura ósea del cuerpo; esto sirve para definir en forma drástica el radio de acción física del sistema (dibujo 2.2).

Por otra parte, la dinámica implícita en un sistema se podría representar en términos de dos conceptos adicionales: flujos de información y procedimientos. Esa dinámica, a menudo llamada funcionamiento, debe estar sujeta a las restricciones impuestas por la estructura organizacional del sistema; por ejemplo, el cuerpo humano no puede moverse en una forma que desarticule el esqueleto o, análogamente, una empresa de tipo financiero no puede pensar en implantar procedimientos para la elaboración de un producto ingenieril sin un cambio estructural drástico. En el caso de una empresa, el concepto flujo de información se refiere no sólo al flujo de documentos y, en el caso de una unidad biológica al flujo de líquido (v.g., la sangre en el cuerpo humano), sino a todas aquellas variables que condicionan directamente la transferencia de información en su concepción más amplia (flujo de material, comunicación verbal, etc.) y que incluyen el canal de comunicación, frecuencia y volumen de datos, sistematización y automatización de la información, costo de transferencia, tipo de información, número de personas involucradas en el flujo y otros.

Por otra parte, el procesamiento de esta información por medio de una serie de actividades enlazadas, es la base fundamental del concepto de procedimiento, el cual también se refiere a variables o parámetros tales como tipo de procedimientos, costo, sistematización y automatización, etc. Es posible que un procedimiento pudiera procesar uno o más flujos de información; a eso se debe que estos conceptos están íntimamente interrelacionados.



Dibujo 2.2. Símil con el sistema del cuerpo humano.

El cuarto concepto, el ambiente de decisión, se refiere a todos aquellos factores humanos, físicos y económicos que condicionan la toma de decisiones. Cuando el sistema se refiere a una institución, ya sea pública o privada, el ejecutor de la decisión es el elemento humano y la interacción con el ambiente directamente relacionado a este proceso está englobada por este concepto.

Tal vez se pudiera hablar de un último concepto: la interacción entre los conceptos antes mencionados. De cualquier forma, esta interacción es un elemento clave en la definición de cualquier sistema y se refiere a todos aquellos factores que se podrían considerar como "traslapes" entre los conceptos bases; por ejemplo, quien toma decisiones es tanto el emisor-receptor de los flujos de información como el elemento motor del concepto ambiente de decisión.

Con base en el marco conceptual anterior, el lector debe poder pensar en cualquier sistema de interés y lograr la definición del mismo en términos de los conceptos ya descritos. Esto establece la base fundamental para la modelación más concreta del sistema, ya sea en forma matemática, física u otra.

Se podría pensar en otras conceptualizaciones comparables en cuanto a alcance, aunque la aquí presentada se recomienda por la facilidad de definición y lógica involucrada, ya se ha utilizado en una gran variedad de estudios organizacionales e ingenieriles en diversas instituciones públicas y privadas de Latinoamérica a través de trabajos de asesoría de Planificación y Desarrollo de Sistemas, S.A. de C.V. (Cárdenas, 1975).

LECTURA 5.1

INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA

Un enfoque a través del diseño

Ing. Pablo Grech Mayor

Editorial

7.- Criterios y restricciones

"I sell here, Sir, what all the world desires to have – POWER".

Matthew Boulton, 1776

(mostrándoles a unos invitados una fábrica movida por la fuerza del vapor).

Objetivos generales

- Comprender la importancia que tienen los recursos en la ejecución de un proyecto de ingeniería.
- Comprender el significado de las restricciones en un proyecto.
- Comprender lo que significan los criterios de selección en un proyecto.

Objetivos específicos

- * Identificar los recursos más importantes en el desarrollo de proyectos en ingeniería.
- * Usar algunas herramientas para planificar la ejecución de un proyecto en el tiempo.
- * Presupuestar los costos de un proyecto.
- * Identificar las causas de impacto ambiental de un proyecto.
- * Identificar algunos factores que pueden aumentar el riesgo de un proyecto de ingeniería.

7.1. Introducción

La solución a la mayoría de los problemas con que se enfrenta un ingeniero se encuentra restringida en dos frentes: El tiempo y el dinero. Ambos son recursos que deben manejarse cuidadosamente en todo proyecto de ingeniería: hay un límite de tiempo para entregar la solución y el costo de la misma no puede superar determinados topes.

A diferencia del científico que no siente estas limitaciones, el ingeniero sabe que si su solución llega después de los términos establecidos, es muy posible que no sea aceptada. Si el costo de su solución es excesivamente alto y el producto es dos veces más costoso, por ejemplo, que otro disponible en el mercado, la probabilidad de éxito comercial del mismo será muy pequeña.

Como ya se indicó, los ingenieros trabajan en un mundo real en el que se deben tomar en cuenta ciertos factores que limitan la gama de soluciones a los problemas para resolver. Si no existieran estas limitaciones, las soluciones de los ingenieros serían menos costosas, más eficientes, más duraderas, etcétera. Pero el lado negativo sería: más contaminación, más consumo de recursos no renovables, mayores costos a largo plazo, etcétera.

Algunos factores son restrictivos e imponen topes a los valores de variables que afectan la solución del problema: son valores que no deben sobrepasarse.

- Se solicita que la solución a un problema determinado se entregue a más tardar en 180 días; si el contratista la entrega después de este plazo, no es aceptable.
- El peso de un camión no debe sobrepasar la capacidad máxima de carga de los puentes que debe cruzar.
- El contenido de CO en la prueba de emisión de gases a un vehículo con motor de combustión interna no debe sobrepasar las 3 partes por millón (3 ppm.) Si supera este límite, el motor debe mandarse a sincronizar.
- El costo para producir un nuevo detergente no debe superar el precio de la competencia (si quiere tener éxito).

Otros factores, denominados *criterios de selección*, sirven para identificar cuál de las soluciones planteadas en un problema es la mejor. Estos criterios corresponden a parámetros de la solución cuyos valores pueden oscilar en un rango. En ocasiones, hay que buscar que un valor sea máximo, pero en otras se desea reducirlos al mínimo.

- Entre dos herramientas de computación gráfica que se comportan de manera similar en cuanto a sus especificaciones técnicas, se prefiere la que ejecuta en menor tiempo un determinado problema.
- El consumo de energía de un proceso industrial debe reducirse al mínimo, para que los costos del producto puedan rebajarse.

- La relación energía/peso de una batería debe tender al mayor valor posible para que el costo de transportarla no sea excesivo.
- Entre dos procesos industriales para producir papel de alta blancura se prefiere al que menos contamine el ambiente.
- Entre dos proyectos de construcción de viviendas de tipo social se prefiere el que en igualdad de condiciones ofrece un costo menor por m² construido.

Es función del equipo diseñador identificar las restricciones y los criterios de selección que se usarán para escoger la mejor solución a un determinado problema. En la mayoría de ocasiones será necesario llegar a un compromiso, pues mientras una determinada variable tiende a optimizar una especificación de la solución, otra puede empeorarla.

- La adición de plomo a la gasolina aumenta la eficiencia del motor de combustión, sin embargo, los gases de la combustión contienen componentes dañinos para el cerebro humano.
- La confiabilidad de un equipo puede aumentarse seleccionando únicamente los que pasan las más estrictas pruebas de calidad; pero este proceso encarece el producto.
- La fisión atómica produce energía abundante y barata; pero su aspecto negativo es la contaminación y el riesgo de una catástrofe nuclear.
- La adición de bolsas de aire en los automóviles disminuye el riesgo de lesiones a los pasajeros, pero aumenta el costo del vehículo.
- Colocar los paracaídas para cada pasajero en los vuelos comerciales permitiría salvar vidas en algunos casos (es muy dudoso), pero a costa de un mayor valor del tiquete, pues con tanto peso no sería posible embarcar tantos pasajeros.

Deben planearse las actividades del proyecto para que la solución llegue a tiempo; es importante que nuestro estudiante se dé cuenta desde el principio que los elementos con los que se realiza un proyecto tiene unos costos, monetario, social, ambiental, y que la minimización de éstos es uno de los objetivos permanentes de la buena ingeniería. En este capítulo abordaremos estos dos puntos tan importantes en la ingeniería y que son, con mucha frecuencia, subestimados por nuestros futuros ingenieros.

(...)

7.2. El tiempo

El tiempo es uno de los factores fundamentales que debe tenerse en cuenta a la hora de planificar un proyecto; en todas las actividades humanas, especialmente en ingeniería, las soluciones hay que entregarlas a tiempo. Si se entregan antes, mejor: pero nunca después.

Entregar tarde una propuesta, un trabajo, una obra puede implicar pérdidas económicas, pérdida de un contrato, sobrecostos, etcétera.

Para evitar que ocurra esto es necesario analizar el proyecto, dividirlo en actividades y estimar la duración de las mismas. Quizás la parte más difícil de un proyecto sea ésta: estimar la duración de cada una de las actividades. A menos que se tenga experiencia en el tema, es difícil a la primera oportunidad acercarse suficientemente al tiempo real de duración de una actividad. Con la experiencia que se gane en sucesivos proyectos, se llegará a estimaciones con una aproximación suficiente

(...)

7.2.2. Diagramas de barras o de Gantt

Una forma común de representar gráficamente las actividades de un proyecto es mediante un diagrama de dos dimensiones: el eje horizontal representa el tiempo, mientras que en el vertical se registran las diferentes actividades del proyecto, cada una identificada con una barra horizontal de un tamaño proporcional al tiempo que dura la actividad. En la figura 7.2 se presenta un ejemplo.

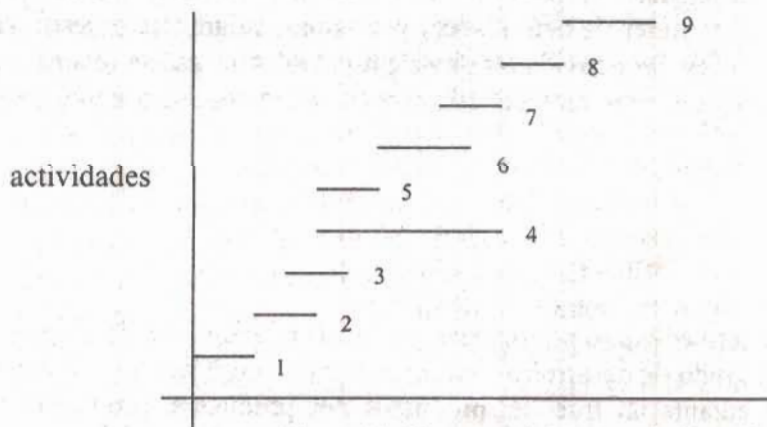


Figura 7.2. Diagrama de barras o de Gantt de un proyecto.

Se trata de un proyecto en el que se han identificado nueve actividades, numeradas de 1 a 9. Del análisis de las actividades se deducen los tiempos aproximados de duración de cada una de ellas; la unidad básica es la semana, por lo que el eje horizontal se ha dividido en semana. La duración máxima del proyecto es 16 semanas, lo que explica que el eje horizontal no se hubiera extendido más allá del número 16. Como se puede observar, la actividad 1 arranca desde el origen, tiempo de referencia 0; la actividad 2 sólo puede arrancar cuando ha terminado la actividad 1. Una vez ocurrido esto, se empieza a ejecutar la actividad 2. Se dice que la actividad 1 y 2 se ejecutan en forma secuencial se dice que la 1 es la predecesora de la 2. Lo mismo sucede con la actividad 3: no puede arrancar antes que finalice la 2. A su vez, la actividad 4 arrancará cuando la 3 haya finalizado. Todos estos son ejemplos de actividades secuenciales: unas ocurren sólo cuando han finalizado las predecesoras.

Sin embargo, la actividad 5 arranca en el mismo instante que arranca la 4; no espera ningún resultado de la 4 para comenzar a ejecutarse. Las actividades 6, 7, 8 y 9 son actividades secuenciales. Pero la actividad 4 sigue ejecutándose en paralelo con las demás actividades; termina después que la actividad 8 ya ha comenzado.

Este tipo de proyectos en los que se pueden realizar varias actividades simultáneamente, sin que una de ellas dependa de la finalización de las otras, es frecuente.

(...)

Los diagramas de Gantt son útiles para la organización de determinados proyectos: cuando se maneja producción industrial, en la que ya se conocen anticipadamente los tiempos estándares de muchas operaciones, el uso del diagrama de barras es una buena alternativa. Sin embargo, en situaciones donde no se conocen exactamente la distribución de tiempos de las actividades, es preferible utilizar otra herramienta, como las **redes**. El diagrama de Gantt no muestra claramente las interrelaciones entre las distintas actividades; se vuelve pesado de manejar cuando el número de actividades es muy grande (hay proyectos en los que se manejan miles de actividades) y, además, solamente muestra una de las posibles formas de organizar las actividades de un proyecto. Aun así, se recomienda su uso para los principiantes, pues es muy fácil de utilizar y en aplicaciones pequeñas da los resultados esperados.

(...)

7.3. El dinero

El dinero sirve como intermediario en la realización de los negocios de las empresas; es uno de los indicadores del grado de desarrollo alcanzado por una civilización. En épocas pasadas todo se realizaba mediante un trueque: productos por productos, productos por servicios, servicios por servicios, etcétera. Posteriormente se utilizaron mecanismos más ágiles: monedas acuñadas por personas o gobiernos (...) a las cuales se le asignaba un valor que de alguna manera representaba su valor real. Por ejemplo, una moneda de oro cuyo peso era de 1 onza permitía conseguir un determinado número de kilogramos de carne, una moneda de oro de 2 onzas permitía obtener el doble de esa cantidad de carne.

A medida que las estructuras organizativas de las sociedades fueron volviéndose más complejas y el comercio creció, fue necesario idear un mecanismo más ágil, que no estuviera ligado tan directamente con el valor real del instrumento utilizado en la negociación. Apareció el *pagaré*, documento que le garantizaba al vendedor una cantidad de monedas de oro, por ejemplo, contra la presentación de ese documento a determinada persona en algún lugar. Este mecanismo fue desarrollándose paralelamente al uso de las monedas de oro y plata, cuyo valor representaba el de la transacción. Como se habrá podido dar cuenta, el pagaré es un pedazo de papel cuyo valor real no tiene ninguna relación con el valor de la negociación: un pedazo de papel vale, normalmente, muy poco (¿a cómo pagan el Kg. de papel usado?).

Hace algunos años, los bancos nacionales de algunos países se esforzaban por atesorar la mayor cantidad posible de lingotes de oro, pues esa cantidad respaldaba el valor de su moneda nacional ante la de otros países. Era una reminiscencia. Todavía en muchos billetes de banco se observa una leyenda que dice, más o menos, que "... el Banco de la República pagará al portador la cantidad de tantos pesos oro...", lo cual ya no es cierto. (Si lo cree, intente obtener su valor en el equivalente en oro).

En la actualidad, el valor de una moneda se basa en la capacidad del respectivo país de respaldarla con productos, servicios y otros. Pero debe existir una relación entre la cantidad de moneda emitida y el valor del país. Si un país emite dinero por el doble de todo lo que vale el país es seguro que la capacidad adquisitiva de esa moneda ante la comunidad internacional va a disminuir: si una persona llegara a reunir todo el dinero emitido por ese país, podría comprar el país y aún le sobraría dinero sin respaldo. La emisión de dinero no resuelve los problemas económicos de un país; las emisiones deben ir respaldadas con un aumento de la productividad, descubrimiento de nuevas fuentes de recursos, etcétera.

Dadas las proporciones de los negocios mundiales y la rapidez con que se llevan a cabo, nadie utiliza dinero en billetes para realizar grandes transacciones; utiliza instrumentos más sofisticados para adelantar estas actividades: cheques, cartas de crédito, entre otros. Cada día se vuelve más común recurrir a las transferencias electrónicas de fondos: el dinero ya no se mueve, circula electrónicamente de país a país por las redes de computadoras que entrelazan los sistemas financieros. De todos modos, en algún momento pueden convertirse en dinero físico esos impulsos electrónicos que impregnan el aire. Pero cada vez es más común el dinero plástico: las tarjetas de crédito, de débito, los cajeros electrónicos, los puntos de venta conectados a redes de computadoras están convirtiendo en obsoleto el mecanismo de usar billetes para nuestras transacciones. Sólo los pueblos más atrasados siguen usando el billete como intermediario en los negocios; incluso, en muchos países, las personas más tradicionalistas desconfían de las tarjetas y todo lo quieren pagar en efectivo. En Estados Unidos, por ejemplo, es raro que la gente pague en efectivo; todo el mundo paga con tarjetas de crédito, como ocurre en la mayoría de los países desarrollados.

De todas maneras, detrás de todos esos mecanismos permanece inalterable el concepto original: el dinero representa capacidad adquisitiva, qué se puede hacer, qué servicios pagar, qué productos comprar, etcétera. Debe pensarse en el dinero como un nivel de abstracción que se ha creado para facilitar, para agilizar las relaciones comerciales entre

los seres humanos. Imagínense que estuviéramos en la edad del trueque: ¿cuántos sacos de café, por ejemplo se deberían dar para comprar un BMW 525?

(...)

7.3.1. El dinero en función del tiempo

El poder adquisitivo del dinero es cada vez menor, por múltiples circunstancias: los salarios suben sin que aumente la productividad, los bancos estatales emiten más papel moneda sin un respaldo efectivo, la gente gana más pero hace lo mismo. Hay más gente con más dinero, pero la cantidad de bienes que se ofrecen sigue igual o su incremento es mínimo; como la gente tiene más dinero no le importa pagar más.

(...)

En la figura 7.7 se aprecia como varía el valor del dinero respecto al tiempo.

Mil dólares de hoy no tienen el mismo valor que dentro de un año; no se puede comprar lo mismo en los supermercados. Esta pérdida de poder adquisitivo interno se debe a la inflación. Cada mes sube el costo de vida, y el poder del salario que se recibe se disminuye en la misma proporción.

La inflación se expresa en términos porcentuales: por ejemplo, la inflación de 1993 en Colombia fue 22,6%; es decir, el costo de la vida subió durante los doce meses de 1993 el 22,6% a 1992.

(...)

En algunos países, los salarios se reajustan al principio de cada año en una proporción similar al índice de inflación, con el objeto de que el poder adquisitivo de los salarios permanezca constante. El gobierno, a través de su oficina de estadística, mantiene una lista de productos que conforman la denominada canasta básica y que contiene el conjunto de productos considerados básicos para una familia típica. Con base en esta canasta básica calcula el índice de la inflación.



Figura 7.7. El dinero pierde valor con el tiempo.

A medida que los gustos de la población cambian, se altera la combinación de la canasta básica para que la misma refleje lo más exactamente posible el índice efectivo de la inflación. No es descabellado pensar en diferentes *canastas* para reflejar los cambios en los costos de los insumos y servicios de diferentes actividades. Por ejemplo, para los ingenieros civiles constructores, se podría crear una canasta que incluyera los elementos básicos que definen el precio de sus productos: el cemento, el acero, los salarios, las máquinas herramientas, entre otros. Lo mismo se podría hacer para las diferentes disciplinas de la ingeniería.

¿Por qué es importante que un ingeniero conozca acerca del poder adquisitivo del dinero y su variación respecto al tiempo? Cuando un ingeniero se compromete a realizar una determinada obra por una determinada cantidad de dinero en un lapso que incluye varios años, o se compromete a realizar un mantenimiento de unos equipos a un determinado precio, debe ser consciente de que el precio actual no será el mismo en el año entrante, o de lo contrario puede perder dinero. Por ejemplo, un ingeniero calcula que el costo de mantener un equipo de computación es de \$ 100000 al año; el precio del mismo contrato para el año siguiente debe incrementarse en un porcentaje igual o superior, al de la inflación para el año transcurrido.

(...)

Ejemplo 6

La Empresa Construcciones Eléctricas Nacionales S.A. se encuentra elaborando su proyecto de presupuesto para el 2001. En su elaboración toma como base el presupuesto del 2000 y proyecta los valores al año 2001 tomando como referencia las proyecciones que los organismos especializados han identificado para el siguiente año. La oficina de Estadísticas del Banco Nacional calcula que la inflación en 2001 será del 16%, aproximadamente. Por su lado, la Cámara de comercio ha identificado una disminución en las ventas del sector

eléctrico debido al aumento de los precios de sus productos. Esta disminución se calcula en 3,5% sobre las ventas del año 2000.

La política de la empresa en ésta época de recesión económica ha sido aumentar los precios de sus productos en el mismo valor de la inflación proyectada; es decir que en el 2001 los precios de sus productos serán los mismos que en el 2002 más el 16%, valor de la inflación. En otras palabras, su precio real no cambia. Para sus empleados se prevé un aumento general de la inflación más dos puntos porcentuales; es decir, en este caso será del 18%. Por otra parte se ha llegado a la conclusión de que los costos de producción se incrementarán, adicionalmente al aumento producto de la inflación, en el 5% respecto a los del 2000 debido a un aumento internacional en las materias primas. Total, la empresa sospecha que sus ganancias en el 2001 serán inferiores a las del 2000. De todas maneras, es necesario elaborar el presupuesto para presentarlo a la junta directiva de la empresa que tiene que estudiarlo antes de dar su aprobación.

El cuadro 7.3 muestra el presupuesto del 2000 y el del 2001. Para los cálculos se utilizó una hoja electrónica de cálculo.

Empresa de Construcciones Eléctricas Nacionales S.A.

Presupuesto para el año 2001

| Ítem | Año 2000 | Año 2001 | Ganancia real |
|-----------------------|-------------|-------------|---------------|
| Ingresos | | | |
| Ingresos por ventas | 670 000 000 | | |
| Total ingresos | 670 000 000 | 777 200 000 | |
| Gastos | | | |
| Pago de personal | 120 000 000 | 141 600 000 | |
| Costos de producción | 400 000 000 | 484 000 000 | |
| Total gastos | 520 000 000 | 625 600 000 | |
| Ganancias | 150 000 000 | 151 600 000 | 130 689 655 |

Cuadro 7.3 Presupuesto de gastos

Como se puede apreciar, la ganancia en el 2001 será de 151 600 000 pesos, algo más que en 2000. Pero hay que recalcar que con esos pesos no se compra lo mismo que con los 150 000 000 del año 2000, pues han sufrido una pérdida de valor debido a la inflación. En realidad, su verdadero valor con respecto al año 2000 es de 130 689 655, que muestra la pérdida real de la empresa.

Ejercicio 7

Los cálculos del ejemplo 6 no han tenido en cuenta la disminución de las ventas pronosticada por la Cámara de Comercio. Descubra las fórmulas que hay en cada una de las celdas de la hoja de cálculo, y vuelva a calcular la ganancia real pero teniendo en cuenta en este segundo intento la disminución de las ventas prevista.

En pocas palabras, la inflación disminuye el poder adquisitivo de los usuarios cuando se realizan negocios internamente en el país, con productos y servicios en los que todo o gran parte son nacionales. Pero cuando estos servicios o productos son importados, o contienen una gran proporción importada, su precio se fija con base en el comportamiento de la moneda nacional respecto a algunas monedas internacionales que se toman como referencia. Normalmente se toma el dólar estadounidense como moneda de referencia y el valor de la moneda nacional, para transacciones en el extranjero se define así: ¿cuántos pesos colombianos, por ejemplo, tienen el mismo poder adquisitivo internacional que 1 dólar estadounidense? A este número se le denomina tasa de cambio.

En la figura 7.9 se aprecia una curva típica de la tasa de cambio; la tasa varía con el tiempo. Pero a diferencia de la inflación, la tasa de cambio tiene altibajos significativos: en la zona A de la figura 7.9 la tasa disminuye, se requieren menos pesos para comprar un dólar. Sigue una zona en la que se aprecia que el cambio permanece constante durante un cierto tiempo. Existe estabilidad cambiaria.

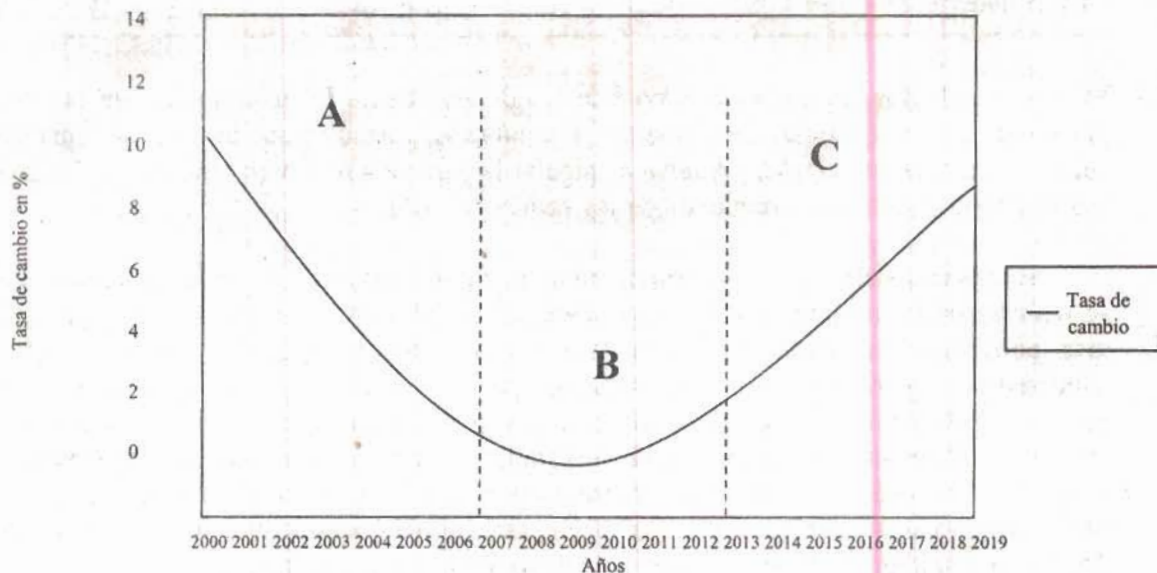


Figura 7.9. Variación de la tasa de cambio a lo largo del tiempo.

Finalmente, en la zona C la tasa de cambio sube: se requieren más pesos para adquirir un dólar.

La zona A representa una etapa en la que el peso se revalúa, incrementa su valor respecto al dólar. La revaluación es buena para los que van a hacer turismo: tienen más poder adquisitivo, pueden comprar más cosas con el dinero que ganan, porque por ese dinero les dan más dólares. Es bueno, en general, para los consumidores en el país, pues los productos importados cuestan menos y por tanto la gente puede darse gustos que de otra forma no disfrutaría.

Por el contrario, a medida que la moneda nacional se fortalece, el precio en dólares de los productos y servicios originados en el país es más alto: los extranjeros ya no pueden comprar los mismos artículos que compraban con sus dólares y el país deja de ser atractivo para los turistas. La zona C indica que la moneda nacional está devaluándose, es decir, que cada vez pierde terreno respecto al dólar; es la zona que adoran los exportadores. En la medida que sus productos valgan menos dólares, los países extranjeros podrán comprar más productos nacionales y aumentará el empleo en el país. Mayor empleo es paz social.

Sin embargo, una devaluación exagerada encarece los productos que se importan del extranjero: un computador cuesta más pesos y, por tanto, los servicios que presta un ingeniero se encarecen, pues la compra de equipos y de suministros para esos equipos exige cada vez más pesos: suben los precios internos y sube la inflación. Es necesario llegar a un punto de equilibrio en el que las ventajas de aumentar el empleo a través de la devaluación no se pierdan por un aumento exagerado en los precios internos.

En resumen: a la pérdida de poder adquisitivo de la moneda dentro del país se le denomina inflación. La pérdida de su poder con respecto al dólar, por ejemplo, se denomina *devaluación*. El ingeniero debe tener conocimiento de estos conceptos cuando defina el precio de sus productos o servicios si éstos abarcan un período considerable (por ejemplo, varios años). El poder adquisitivo del dinero es una función del tiempo.

7.3.2. Invertir el dinero en una empresa productiva

Por poner a producir el dinero se entiende montar un negocio, ser socio capitalista de una empresa (el socio capitalista pone el dinero y el socio industrial pone la idea, el trabajo, etcétera), ser empresario. Es lo opuesto al caso anterior en el que el dueño del dinero juega con su capital buscando qué entidad financiera o qué persona le ofrece mayores intereses.

Montar un negocio exitoso no es fácil; si no se produce prudentemente la aventura de ser empresario puede terminar en un fracaso, del que rara vez se levantan las personas afectadas con nuevas ganas de volver a intentarlo nuevamente. Hay un consejo importante que se debe seguir: haga lo que sabe hacer. No se meta en negocios que traten asuntos en los que no es experto. Aunque por formación usted será capaz de abordar muchos campos del quehacer humano, solamente va a sobresalir en aquellos para los que usted se prepara durante muchos años de estudio.

Un ingeniero industrial tiene un enorme campo de acción en todo lo relacionado con la producción industrial de bienes: confección textil, muebles, partes para automotores, herramientas, artículos plásticos, etcétera. Los ingenieros civiles pueden dedicarse a la construcción de edificios, vías, puentes, entre otros, o pueden montar una oficina técnica en la que desarrollen estudios técnicos y cálculos para otros ingenieros. Los ingenieros de sistemas pueden formar fácilmente empresas diseñadoras de software, tanto para el consumo nacional como para el internacional; además pueden montar empresas de servicio para la venta de equipos, soporte técnico y demás.

(...)

Ejercicio 10

Hay que resaltar desde el principio que ingresos no es lo mismo que ganancias, como se mostrará más adelante.

Una empresa puede tener ingresos por más de un concepto. Por ejemplo, una empresa de informática que pertenece a un grupo de ingenieros de sistemas, desarrolla aplicaciones a la medida, aplicaciones genéricas, presta servicio de venta de equipos de computación, así como repuestos, suministros, servicio de mantenimiento, asesoría y consultoría. Por cada uno de estos conceptos se obtienen ingresos. El ingreso total es la suma de los ingresos parciales.

Los costos

Para producir es necesario incurrir en gastos. Por ejemplo, si un ingeniero electrónico construye una alarma contra robos debe adquirir los componentes: chips, circuitos impresos, soldadura, entre otros. Asimismo, debe pagarles a las personas que efectúan las conexiones de los componentes de la alarma, a quienes prueban los circuitos,... Todos estos gastos en que se debe incurrir son los costos.

La siguiente es una lista de algunos costos comunes de la producción de la mayoría de los productos y servicios:

- Costo de la materia prima empleada en la elaboración del producto.
- Costo del transporte de la materia prima.
- Costo de la mano de obra (sueldos, horas extras, viáticos, etcétera).
- Costo de producción
- Costo de la publicidad
- Costo de los servicios: agua, luz, comunicaciones, y demás.
- Costos financieros: pagos del préstamo, tanto del capital como de los intereses.
- Pago impuesto de todo tipo.

Los costos deben minimizarse para aumentar la ganancia. Hay costos que no pueden evitarse, pero otros pueden reducirse aumentando la productividad, la eficiencia, disminuyendo el desperdicio, usando tecnologías más eficientes, reduciendo gastos innecesarios a través de una buena administración, etcétera.

(...)

7.4. Recursos

Para identificar los criterios y restricciones de determinado proyecto es necesario tener en cuenta que los recursos disponibles para llevarlo a cabo no son infinitos. Las soluciones a un determinado problema son más numerosas y más fáciles de alcanzar en la medida que se disponga de mayores recursos, tanto en variedad como en cantidad. Por ejemplo, el desarrollo de un vehículo para desplazarse en Marte podrá acelerarse a medida que existan suficientes fondos para contratar simultáneamente varios grupos de investigadores, cada uno de ellos buscando soluciones por caminos diferentes. Pero si no se dispone de suficientes recursos, es preciso contratar solamente uno o dos equipos de investigación con restricciones presupuestarias y sin probabilidad de explorar todas las ideas que se les ocurra. En este último caso, el número y calidad de las soluciones que se obtienen finalmente es muy inferior a las del primer caso considerado.

Los recursos que típicamente se manejan en la solución de un problema son:

- El tiempo.
- El dinero.
- La energía.
- Aspectos físicos como el peso, volumen, dimensiones, etcétera.
- Otros.

También habrá que tomar en consideración aspectos como:

- Facilidad en la manufactura.
- Facilidad en el mantenimiento.
- Servicio posventa.
- Garantías.
- Facilidad de manejo.
- Duración del producto.
- Otros.

El proceso de búsqueda de la solución no podrá olvidar los aspectos éticos, sociales, ambientales, o técnicos. No hay que olvidar que las soluciones alteran el entorno en que vivimos; para algunos este cambio puede resultar benéfico, pero en otros genera situaciones más difíciles que las que se presentaban antes de la solución.

(...)

- La implantación del correo electrónico como medio de comunicación en una empresa puede acelerar sus comunicaciones internas, pero puede aumentar en forma desproporcionada el nivel de ansiedad de muchos de sus empleados.
- El uso de medios mecánicos para el corte de la caña de azúcar puede rebajar los costos de producción, pero dejará sin empleo a miles de campesinos.
- La intensificación de la producción de petróleo para un país endeudado puede resultar una forma sencilla de disminuir su deuda, a corto plazo; pero deja a las generaciones futuras sin posibilidad de fuentes de energía.
- El uso de tecnologías obsoletas en la solución de problemas técnicos puede rebajar los costos, pero plantea problemas de carácter ético, pues el mantenimiento, los repuestos, el soporte técnico, entre otros, para este tipo de soluciones se vuelven cada vez más difícil de obtener, y a precios más altos que soluciones que usen tecnologías vigentes.

(...)

7.5. Energía

La energía es uno de los factores básicos que hay que tener en cuenta en casi todos los diseños en ingeniería:

- Un computador de escritorio consume más energía que un computador portátil (laptop).
- La transformación de materia prima en productos de consumo necesita sustancialmente más energía si se utiliza maquinaria antigua que maquinaria moderna.
- Los nuevos equipos de comunicaciones funcionan con un consumo de energía menor que los equipos de hace 20 años.
- Para proporcionar sistemas de comunicación a lo largo del desierto de Sahara fue necesario establecer una extensa cadena de repetidores telefónicos alimentados por energía solar. Por la noche, las baterías que se cargan durante el día proporcionan la energía requerida para que el servicio no se interrumpa.
- La contaminación causada por los automóviles cesará cuando se descubra una fuente de energía de poco peso y alto rendimiento que permita utilizar otro tipo de motores en los autos. Actualmente, el único inconveniente que existe para la

implantación de un nuevo modelo basado en la acumulación de energía se encuentra en el intolerable peso de las baterías.

Todos estos ejemplos señalan la importancia que el aspecto energético debe tener en los proyectos de ingeniería. Hoy el mundo se encuentra asediado por la escasez cada vez más creciente de fuentes de energía económicamente explotable. Existen enormes yacimientos de petróleo pesado, pero su explotación resulta tan costosa que los precios de la gasolina producida son tan altos que nadie puede adquirirla. Mientras no se desarrollen nuevas tecnologías que permitan la explotación económica de esos yacimientos, ese petróleo sigue como reserva para las futuras generaciones.

(...)

7.6. Impacto social

Cualquier decisión que tomen los ingenieros afecta de alguna manera a la sociedad. No puede seguir afirmándose que la ciencia y la tecnología son incoloras; los desarrollos tecnológicos afectan nuestra forma de vida y por tanto en el proceso de decisión en ingeniería deben incorporarse parámetros que reflejan la importancia que se da al impacto social, en relación con los demás parámetros.

- Un proyecto de generación de energía eléctrica requiere un embalse que anega los terrenos de muchas familias de escasos recursos, quienes ven afectada su forma tradicional de vida, sintiéndose obligados a trasladarse a otros lugares de distinta cultura, raza y costumbres.
- En localidades tradicionalmente dedicadas a las faenas pesqueras, donde los rasgos de la civilización occidental han sido escasos, se decide construir un gigantesco puerto, lo que atrae una gran cantidad de personas de otras partes con costumbres totalmente diferentes que alteran sustancialmente las tradiciones y las formas de vida de los habitantes de esas localidades.
- La explotación petrolera trae riqueza a las poblaciones cercanas a los pozos; pero, como costo social aparecen migraciones con costumbres que afectan fundamentalmente el modo de vida de los aborígenes.
- Muchos proyectos de desarrollo en localidades atrasadas traen consigo la desaparición de las culturas existentes. Esto se ve diariamente cuando la civilización se introduce en nuestras selvas, en la costa del pacífico, etcétera.

Desgraciadamente, este aspecto no se ha tomado en cuenta en las decisiones técnicas: Unilateralmente se decide que es necesario que la civilización avance, aun a costa de la cultura y de los valores tradicionales. Pocas veces tienen los aborígenes la oportunidad de expresar su opinión.

Un ingeniero no puede por sí solo decidir qué es lo mejor para la sociedad; tiene que preguntarle a la sociedad qué espera de la solución que el ingeniero va a dar.

(...)

7.7. Impacto ambiental

Desde su aparición sobre la faz de la tierra, el ser humano utiliza los recursos de la naturaleza para su provecho: taló árboles para construir sus viviendas y para obtener energía para calentarse y preparar sus alimentos; ara la tierra para sembrar; mata animales para comer, etcétera. De alguna manera altera el equilibrio establecido y mantenido naturalmente, pero en una magnitud tan pequeña que la misma naturaleza se encarga de restablecerlo sin generar problema mayor.

Sin embargo, a medida que el ser humano domina la tecnología y la aplica en gran escala, el desequilibrio aumenta a una velocidad tal que la propia naturaleza no puede corregir automáticamente. Se ha contaminado el aire a niveles preocupantes; innumerables especies animales y vegetales han desaparecido y están desapareciendo causando desequilibrios entre las demás especies. La erosión consume al año millones de hectáreas laborales convirtiéndolas en desierto y produciendo hambruna a escala gigante; las fuentes de agua están secándose y muchas de ellas se encuentran contaminadas.

Los países más avanzados son responsables de la contaminación de todo tipo, producto de los desechos industriales que arrojan al aire, al agua y a la tierra; son responsables de la contaminación del aire por los millones de toneladas de CO y CO² que arrojan diariamente los millones de automóviles que transitan por las carreteras. Los pobladores de los países menos desarrollados arrasan con los bosques buscando energía, techo y comida, crean de paso deforestación que a la postre genera desertización. De una manera u otra todos estamos contribuyendo a que nuestro planeta azul se vaya pareciendo al planeta rojo, en el que la ausencia de vida como la nuestra es una de sus características.

Afortunadamente ha habido una reacción positiva y muchas asociaciones ecologistas (Greenpeace, por ejemplo) están luchando en todas las formas posibles para detener este suicidio colectivo; han empezado a hacer su aparición los partidos verdes que en muchos países ya forman parte de los gobiernos y aboga por leyes que promueven un desarrollo sostenible: el uso del entorno y sus recursos naturales indefinidamente sin afectar la capacidad del entorno y utilizarse de la misma manera en el futuro. Satisfacer nuestras necesidades sin poner en peligro esa satisfacción para las generaciones futuras.

(...)

7.8. Consideraciones éticas

Cada vez es más importante que el ingeniero se dé cuenta de las implicaciones *éticas* que tienen sus decisiones. La frase que "...la ciencia no tiene color" es una excusa para quienes ven es abstracto los desarrollos científicos y tecnológicos, sin importar las consecuencias que ellos tengan para la humanidad.

- El desarrollo de una droga que al tomarse disuelta en el agua vuelva estériles a las mujeres que la ingieran puede utilizarse por grupos extremistas para reducir a cero

los nacimientos de un país y, así, eliminar a sus habitantes al cabo de unas decenas de años.

- El desarrollo de un virus informático que borre los archivos de una empresa es un acto criminal.
- Trabajar sobre los prisioneros de guerra para desarrollar nuevas técnicas quirúrgicas.
- Generar pánico en la bolsa de valores para tomar el control de las acciones de una empresa, son actos que atentan abiertamente contra las normas éticas de nuestra civilización.

Sin embargo, hay situaciones en que esta trasgresión no es tan clara. El ingeniero debe ser consciente de que hay normas legales de obligatorio cumplimiento; de lo contrario, hay sanciones dispuestas en la ley. Pero sobre estas normas existen unas superiores que son las que define la moral. Hay casos en que aún cumpliendo las normas legales están infringiéndose aspectos de orden superior.

Ejemplo 25

Las normas de contaminación ambiental de un municipio establecen que las empresas no podrán arrojar más de 1 parte por millón de mercurio en el sistema del alcantarillado de la ciudad. Para forzar esta disposición legal el municipio cuenta con un laboratorio que periódicamente mide la concentración de metal arrojado por la fábrica.

Debido a problemas de instrumentación, el aparato no puede detectar correctamente concentraciones de esta magnitud, por lo que periódicamente y sin problemas alguno se renueva el permiso de funcionamiento de la empresa.

Sin embargo, el ingeniero de producción de la planta efectúa sus propias medidas empleando aparatos con una precisión adecuada para detectar hasta décimas de parte por millón. Se da cuenta de que sus medidas arrojan concentraciones superiores a las permitidas, pero como el municipio, debido a las consideraciones anteriores, siempre los encuentra dentro de lo permitido, no pasa aviso y no efectúa ningún ajuste en los parámetros de producción, pues ello implicaría mayores costos de producción y pérdida de competitividad.

En este caso se cumplen las normas legales, aunque en el fondo se sabe que no es así. Desde el punto de vista legal, no hay nada que reprochar, pero sabiendo que en realidad está excediéndose el límite permitido, el ingeniero debería modificar el funcionamiento de los sistemas de producción para rebajar la concentración de mercurio arrojada al sistema de alcantarillado.

Ejercicio 27

Los países desarrollados, consumidores por naturaleza de los productos del denominado Tercer Mundo, se han vuelto muy exigentes en relación con el respeto de los derechos humanos; incluso ha llegado a boicotear algunos productos naturales (por ejemplo, flores) cuando se sospecha que en su procesamiento existen violaciones a los derechos. Establezca una lista (cuanto más larga, mejor) de las restricciones que se podrían establecer en este sentido, para quienes ofrezcan bienes y servicios.

Íntimamente ligado con el aspecto ético está el de la propiedad intelectual.

- Usar información obtenida por medios ilegales para el desarrollo de un producto no solamente va contra la ética sino que es una ofensa criminal.
- Utilizar información confidencial de una empresa para beneficio personal va contra las normas éticas: un ingeniero trabaja en una empresa en el desarrollo de un producto novedoso. En cierta parte del proceso de desarrollo decide abandonar la empresa para montar la suya con el objeto de producir un dispositivo aprovechándose de lo que pudo conocer en la empresa.

(...)

- Usar una licencia en varios equipos va también en contra de las normas que sobre explotación del software existen.
- Usar desarrollos protegidos por patentes, sin pagar los derechos correspondientes, es no solamente un acto inapropiado sino que éste se encuentra penalizado por la ley.

Los beneficios generados por los derechos sobre patentes son hoy día uno de los mayores ingresos de los países desarrollados. La violación a estos derechos es tan grande, que casi todos los gobiernos de estos países presionan de todos los modos imaginables, el cumplimiento de los acuerdos pactados a nivel internacional. Aún así, hay países que muestran un total desprecio por estos acuerdos y fomentan la copia de desarrollos sin pagar nada a cambio.

Ejercicio 28

Las empresas que ensamblan autos de marca extranjera usan ciertas partes producidas en el país. Indique los controles que usted impondría para evitar que se ofrezcan productos que no cumplan las normas internacionales en cuanto a propiedad intelectual.

Es imposible construir un artefacto que sea 100% seguro. A pesar de todos los cuidados que se tienen tanto en la fase de diseño como en la de producción y de las incontables pruebas a que son sometidos los prototipos, siempre existe el peligro de una falla, de un uso inadecuado, entre otros, que conduce, muchas veces, a accidentes fatales.

(...)

Por tanto, el ingeniero debe contemplar en el diseño algún riesgo que está dispuesto a correr; esto se conoce como la *seguridad* del diseño. Algunos prefieren llamarlo el factor de inseguridad. Por ejemplo, los ingenieros civiles calculan sus estructuras con un factor de seguridad para tener en cuenta aspectos que los modelos que usan para el cálculo de obras civiles no toman en cuenta. Determinados resultados son aumentados en un porcentaje para tener un colchón de seguridad, si los materiales empleados rebajan notablemente de sus características habituales.

(...)

7.9. Otras consideraciones

Hoy día es muy importante tener en cuenta la *facilidad de manejo o amigabilidad* de un determinado producto. La facilidad de uso es un factor importante; por ello que en el diseño hay que tener en cuenta este aspecto; por ejemplo:

- El diseño de un mueble debe tener en cuenta las recomendaciones que da la ergonomía.
- Un asiento para un profesional de la computación (...) que pasa muchas horas sentado frente a un computador debe tener en cuenta la fatiga generada en la parte lumbar del organismo.
- La altura y la inclinación de una pantalla de computador son aspectos muy importantes para que el programador no se fatigue tempranamente.
- Un programa de computador debe ofrecer facilidades de manejo, para que los usuarios finales no tengan que volverse expertos programadores para manejar el programa.

Muchos productos pueden trabajar de forma similar, aun cuando su costo y calidad sean dispares. La diferencia puede verse en el momento de repararlos. Para cambiar una escobilla del motor de arranque, en algunos carros hay que bajar el motor, mientras que otros tienen todos los componentes al alcance de la mano. *La facilidad de mantenimiento* es otro de los aspectos que debe tener en cuenta el diseñador. Muchas veces el diseño inicial, una obra de arte científica, debe rehacerse completamente porque en la etapa de producción no se pudo llegar a una disposición adecuada de los componentes para su fácil mantenimiento. Se han dado casos en que por no tener fácil acceso a determinadas partes, que deben mantenerse periódicamente en razón de su desgaste, se han producido accidentes.

(...)

7.10. Ponderación de los diversos criterios

La lista dada no es exhaustiva ni mucho menos; se consideraron los aspectos más relevantes que aparecen en la mayoría de los diseños, pero para cada área de la ingeniería habrá que hacer la lista específica. Estos factores pueden tener un efecto limitante en las consideraciones de diseño; por ejemplo:

- El peso de un carro no puede exceder los 1500 kg.
- El costo de una nevera no puede rebasar los 500000 pesos.
- La carga de una batería debe durar por lo menos 10 horas.

Toda solución que no cumpla una de las condiciones impuestas como restricciones debe ser desechada. Pero, adicionalmente, el ingeniero tiene que optimizar la solución de acuerdo con los parámetros estudiados. Optimizar quiere decir encontrar la solución que vuelva máxima o mínima una función que relaciona los criterios establecidos; por ejemplo:

$$\text{Solución } i = \sum \text{factor}_i * \text{criterio}_i$$

En donde:

i : es una de las soluciones.

factor i : es el peso que se ha dado a un criterio.

criterio i : es uno de los criterios.

La solución de mayor valor será la óptima y la seleccionada como el mejor diseño. La forma de llegar a este valor no es trivial y la estudia toda un área de la matemática denominada teoría de la optimización. Sin embargo, existen maneras de llegar a resultados casi equivalentes usando técnicas menos complejas.

Ejemplo 26

Se debe diseñar un mueble de características novedosas para colocar el computador, teniendo en cuenta los criterios y el peso relativo de cada uno de ellos que se relacionan en él (Véase cuadro 7.7).

En este ejemplo se da prioridad al costo del mueble, mientras que la comodidad y la apariencia ocupan un segundo y tercer lugar, respectivamente.

| Criterio | Valor relativo (%) |
|-----------|--------------------|
| Costo | 50% |
| Comodidad | 30% |
| Acabados | 20% |

Cuadro 7.7. Ponderación de los criterios para seleccionar la mejor solución

Ejercicio 32

Tomando el ejemplo 26, calcule cual es la solución óptima suponiendo que la apreciación de un grupo de personas que han analizado cuatro propuestas de muebles para computador arroja los factores que se mencionan en el cuadro 7.8.

| Nota o factor Mueble | Costo | Comodidad | Acabados |
|-------------------------|-------|-----------|----------|
| 1 | 8/10 | 7/10 | 5/10 |
| 2 | 9/10 | 8/10 | 4/10 |
| 3 | 8/10 | 9/10 | 4/10 |
| 4 | 7/10 | 9/10 | 8/10 |

Cuadro 7.8. Asignación de notas a cada uno de los diseños para cada uno de los criterios de selección

El término mejor, que tanto se emplea en ingeniería para referirse a la mejor solución es, entonces, de carácter subjetivo. Depende de los criterios que se hayan definido para la solución. Si solamente se considera el costo como criterio de diseño, la mejor solución es la más barata. (...)

Es indispensable que el diseñador determine a priori, mediante un factor de ponderación, cuál de los factores, según él, importa más y expresarlo de una forma cuantitativa. Estos factores se acostumbra expresarlos en términos porcentuales, cuya suma completa el 100%. (...)

La pregunta clave es: ¿cómo se escogen estos valores? Evidentemente, no es capricho del diseñador, aunque si está influenciado por la experiencia que sobre diseño posea el equipo de diseño. De todas maneras reflejan la importancia relativa que sobre la solución tiene cada uno de los factores considerados. (...) En ocasiones, algunos de estos factores representan una ventaja competitiva. (...)

7.11. Comparación de cada criterio

La escogencia de los criterios de selección, así como su importancia relativa, es una de las etapas cruciales en el proceso de diseño en ingeniería. Para hallar de una manera científica la ponderación (el peso, la importancia) de cada uno de los criterios de selección se sugiere el método de la comparación por pares. En este método, todos los criterios identificados se evalúan entre sí: todos contra todos, uno a la vez.

Al finalizar la comparación los criterios quedarán en el orden de mayor a menor importancia.

Por ejemplo, considérese la compra de un sistema de computación para una empresa. Se han identificado los siguientes criterios de selección relacionados con el factor de costos:

1. Costo inicial.
2. Costos de Operación.
3. Durabilidad.
4. Seguridad.
5. Valor comercial.

Con base en el método de comparación por pares, se obtiene el cuadro 7.9.

| Criterios | ¿Cuál es el más importante? | Decisión |
|--------------------|--|------------------------|
| Costo inicial | 1. Costo inicial versus 2. Costo de operación | Costo de operación (2) |
| | 1. Costo inicial versus 2. Durabilidad | Durabilidad (3) |
| | 1. Costo de operación versus 2. Seguridad | Seguridad (4) |
| | 1. Costo inicial versus 5. Valor comercial | Costo inicial (1) |
| | | |
| Costo de operación | 1. Costo inicial versus 2. Durabilidad | Costo de operación (2) |
| | 1. Costo inicial versus 2. Seguridad | Seguridad (4) |
| | 1. Costo de operación versus 2. Valor comercial | Costo de operación (2) |
| | | |
| Durabilidad | 1. Durabilidad versus 2. Seguridad | Seguridad (4) |
| | 1. Durabilidad versus 2. Valor comercial | Durabilidad (3) |
| Seguridad | 1. Seguridad versus 2. Valor comercial | Seguridad (4) |
| | | |

Cuadro 7.9. Comparación por pares entre criterios

Fácilmente se reconoce que este método se compara cada criterio con los demás; de la comparación surge un ganador, cuyo nombre se coloca en la última columna. Al final se cuenta el número de veces que cada criterio ganó. Se suman las victorias de todos y se establece una proporción entre las veces que cada criterio ganó y el número total de comparaciones. De ahí se calcula el peso en términos de porcentaje de cada criterio. En la tabla IX se observan estos pesos.

| | |
|------------------------|----------|
| Costo inicial | 1 vez |
| Costo de operación | 3 veces |
| Durabilidad | 2 veces |
| Seguridad | 4 veces |
| Valor comercial | 0 veces |
| Total de comparaciones | 10 veces |

Cuadro 7.10 Frecuencia de cada criterio de selección

De donde se desprende que la importancia relativa de los criterios de selección, para el factor costo, sería la que se relacionan en el cuadro 7.11.

| | | | |
|------------------------|------|-----|------|
| Seguridad (4) | 4/10 | 40% | 0,40 |
| Costo de operación (3) | 3/10 | 30% | 0,30 |
| Durabilidad (2) | 2/10 | 20% | 0,20 |
| Costo inicial (1) | 1/10 | 10% | 0,10 |
| Valor comercial (0) | 0/10 | 0% | 0,00 |

Cuadro 7.11. Importancia relativa de cada criterio de selección

Sin embargo, uno de los criterios salió calificado con 0,00 pesos. A pesar de que se consideró importante, el resultado de las comparaciones arroja un valor nulo a este criterio. Para corregir este defecto del método, se sugiere que en las comparaciones no se asigne simplemente un vencedor y un perdedor, sino que se le asignen puntos a cada uno. Es decir, que haya un resultado como si fuera un partido de fútbol.

Teniendo en cuenta lo anterior, el cuadro de comparaciones queda como sigue (véase cuadro 7.12):

| Criterios | ¿Cuál es el más importante? | Decisión |
|--------------------|--|------------------------|
| Costo inicial | 1. Costo inicial 3 versus 2. Costo de operación 7 | Costo de operación (2) |
| | 1. Costo inicial versus 2. Durabilidad 8 | Durabilidad (3) |
| | 1. Costo inicial 4 versus 2. Seguridad 6 | Seguridad (4) |
| | 1. Costo inicial 7 versus 5. Valor comercial 3 | Costo inicial (1) |
| Costo de operación | 1. Costo operación 6 versus 2. Durabilidad 4 | Costo de operación (2) |
| | 1. Costo operación 4 versus 2. Seguridad 6 | Seguridad (4) |
| | 1. Costo de operación versus 2. Valor comercial 3 | Costo de operación (2) |
| Durabilidad | 1. Durabilidad 4 versus 2. Seguridad 6 | Seguridad (4) |
| | 1. Durabilidad 7 versus 2. Valor comercial 3 | Durabilidad (3) |
| Seguridad | 1. Seguridad 7 versus 2. Valor comercial 3 | Seguridad (4) |

Cuadro 7.12. Método de comparación entre pares modificados

Al sumar los puntos obtenidos por cada criterio se obtienen los totales que aparecen en el cuadro 7.13.

Costo de operación 24 25,80%

| | | |
|-----------------|----|--------|
| Seguridad | 25 | 26,9% |
| Durabilidad | 16 | 17,2% |
| Costo inicial | 16 | 17,2% |
| Costo comercial | 12 | 12,9% |
| Total | 93 | 100,0% |

Cuadro 7.13. Ponderación de los diferentes criterios de selección

De estos resultados se desprende que la modificación introducida al método arroja una reorganización de los pesos de los criterios. Más aún: el valor comercial sí tiene peso, como era de esperar.

Esta manera de asignarles los pesos a los criterios depende de la subjetividad de los evaluadores; pero si se escogen varias personas que emitan su opinión de una forma independiente, es posible llegar a pesos que realmente reflejen la importancia de los mismos en el diseño.

(...)

8.- Definición del problema

“La mera formulación de un problema es mucho más esencial que su solución, que puede ser un asunto de simple habilidad matemática o experimental. Poner sobre el tapete nuevas preguntas, nuevas posibilidades, examinar viejos problemas desde un ángulo distinto requiere imaginación creativa y señala avances de verdad en la ciencia”

El arte del pensamiento creativo,
Robert Olson (1986).

Objetivo General

- Definir correctamente un problema de ingeniería

Objetivos específicos

- * Identificar los síntomas de un problema.
- * Identificar las causas más importantes de un problema.
- * Usar el método científico en situaciones relacionadas con la ingeniería.

8.1. Introducción

Un problema es todo aquello cuya solución se desconoce; ese desconocimiento puede ser para un grupo de personas o para la humanidad. Por ejemplo, el procedimiento para colocar un hombre en la Luna ya no es problema para los Estados Unidos, pero sí para el resto del mundo. La curación del sida o del cáncer son problemas de la humanidad; nadie ha resuelto esos problemas aún. La contaminación del medio ambiente sigue siendo un problema para la humanidad, aunque se hayan planteado soluciones parciales al mismo.

Hay problemas de diversa índole: matemáticos, físicos, sociales, abiertos, cerrados, imposibles de resolver, con soluciones variadas, entre otros. Se podría establecer una clasificación de los distintos tipos de problemas, lo cual no es el objeto de este capítulo. En realidad, los problemas que interesan son, en primer lugar, problemas que de alguna manera tienen que ver con la ingeniería; en segundo lugar, que sirvan para los objetivos que impulsan este libro: desarrollar las habilidades esenciales de los futuros ingenieros.

Para encontrar la solución a un problema es necesario emplear los niveles más altos de la taxonomía del conocimiento, desde el nivel de análisis hasta el de evaluación. No se consideran problemas aquellos casos en los que solamente es necesario aplicar una fórmula y se conocen todos los datos.

Por ejemplo, no es un problema hallar el espacio recorrido por un móvil que se desplaza a una velocidad promedio de 100 Km./h durante 3 horas. Pero sí puede considerarse problema salir de un laberinto, lograr reducir en 30% el nivel de accidentalidad en una ciudad, construir una casa por la mitad del costo actual y en la cuarta parte del tiempo que se emplea en la mayor parte de los casos, lograr bajar el tiempo de respuesta de un computador en 50%, reducir los desperdicios de material en una empresa industrial en un 60%, etcétera.

En todos estos casos existe una situación actual que se desea mejorar, pero se desconoce la manera de lograrlo: ésta podría ser una definición práctica de los que es un problema.

También se habla de situaciones problemáticas: aquellas que encierran un problema. Que se quemen continuamente los fusibles de un equipo de computación, o que dos veces al día, por lo menos, se caiga su sistema operativo, o que nunca contesten en el teléfono de información, etcétera. Refleja situaciones problemáticas. La diferencia con el problema es que en ésta todavía no se conoce cuál es el problema que la origina; solamente se perciben indicios o síntomas de que existe un problema. Hay que encontrarlo, pues si no se puede identificar no se podrá resolver.

Adicionalmente, en ingeniería (y en otras áreas del quehacer humano) se representan situaciones u oportunidades que guardan alguna relación con los problemas: la globalización de la economía ha cambiado muchas reglas del juego en el comercio mundial, en la ingeniería de proyectos, etcétera, y hay situaciones nuevas que pueden conducir a resultados inesperados. Es necesario plantear los posibles escenarios, analizarlos y desarrollar soluciones a los problemas que puedan detectarse. Con base en lo anterior, podrían establecerse las clasificaciones que muestra el cuadro 8.1.

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| Situación problemática | ⇒ | Hay que definir el problema subyacente. |
| Oportunidad o nueva situación | ⇒ | Hay que definir los problemas que se plantean |
| Problema | ⇒ | Hay que hallar la solución. |

Cuadro 8.1. Diferentes tipos de problemas.

Según se ve en el cuadro 8.1, todas las situaciones planteadas conducen a la solución de un problema. En las dos primeras entradas del cuadro es necesario, inicialmente, reducir cada caso al nivel de problema, para después resolverlo. En la última entrada ya está planteado el problema cuya solución hay que encontrar.

Para resolver un problema es primordial definirlo previamente, con el objeto de que la solución corresponda exactamente al que se planteó y no a uno diferente. Aunque esto puede sonar algo peregrino, no hay que perder de vista que a veces las circunstancias que rodean una situación problemática pueden conducir al planteamiento de un problema que no corresponde al verdadero. Tomemos el caso de un automóvil que pierde potencia; el problema puede radicar en múltiples partes del mismo: carburador obstruido, bujías en mal estado, chispa adelantada, correa de distribución gastada, entre otras. Se puede cambiar las bujías y lograr una mejora instantánea, pero al cabo de unos días la situación empeora. En muchas situaciones, hay notables diferencias entre el problema percibido y el real.

De lo anterior se deduce la importancia que tiene la definición correcta del problema que debe resolverse. Definir implica determinar claramente los límites de la solución; indicar precisamente lo que se espera de la solución, las limitaciones que se impondrán y los indicadores visibles que darán fe que ésta se ha logrado. Por ejemplo, si los usuarios de un edificio de oficinas se quejan continuamente de la lentitud de los ascensores la solución al problema no es, obligatoriamente, colocar más ascensores (quizás sí), sino reducir el nivel de quejas. ¿Quién garantiza que colocando más ascensores las quejas disminuirán?

La solución que se escogió al problema planteado en el ejemplo anterior, consistió, en aumentar el número de ascensores; cuando el administrador del edificio llamó a los arquitectos e ingenieros pidiéndoles una solución, todos al unísono contestaron: aumente el número de ascensores. Hay que recordar que *cuando todos piensan igual, nadie piensa*. Las quejas siguieron. Afortunadamente, alguien muy creativo, quien no pensaba igual a los demás, se dio cuenta de que el problema era otro. Surgió colocar espejos en todos los pasillos del edificio y así se redujo sustancialmente el nivel de quejas de los usuarios de las oficinas. ¿Sospecha usted en qué gastaban el tiempo mientras llegaba el ascensor? El problema que se percibía inicialmente era aumentar la velocidad de los ascensores; el problema real que se descubrió más tarde era cómo emplear el tiempo libre de los usuarios mientras llegaba el ascensor. Los costos de las soluciones son astronómicamente diferentes: 10 espejos contra un nuevo sistema de ascensores.

En otro caso una empresa de productos químicos necesitaba medir el flujo de un fluido que pasaba por una tubería, para lo cual instaló un medidor similar al usado en las estaciones de gasolina. Al cabo de unos meses el medidor comenzó a gotear y el problema fue agrandándose de modo incontenible. Como el líquido era corrosivo, se hacía indispensable encontrar una solución al problema. La situación problemática percibida era; el fluido estaba comiéndose el material con el que se había construido el medidor; la solución aparente a todos les pareció obvia: ¿se acuerda de "cuando todos piensan igual .?". Se gastaron enormes sumas de dinero y muchas semanas de investigación para llegar a ... Nada. No se encontró el material que se necesitaba. Uno de los operarios de la empresa (uno que no pensaba igual a los demás) sugirió que para resolver el verdadero problema —el líquido goteaba por el medidor sólo había que cambiar el medidor antes de que empezara a gotear. Dicho y hecho: se cambiaba el medidor cada tres meses y con eso resolvió el problema.

Si los estudiantes se quejan de que deben esperar mucho tiempo para sacar una fotocopia, ¿qué haría usted? ¿Aumentar el número de fotocopadoras? ¿Ampliar los

horarios de atención? ¿Poner una línea rápida? ¿Poner música de la buena para que se entretengan mientras esperan?

Si no se resuelve el problema real, la situación problemática volverá a surgir o la solución implementada resolvió de alguna manera el problema pero a unos costos exagerados. Es probable que al instalar más ascensores hubiera solucionado el problema de la espera y el de las quejas; pero el costo hubiera sido enorme.

Por tanto, es de gran importancia que se analice la situación con lupa, y se evalúen objetivamente las causas del problema para poder de esta manera llegar al verdadero problema, al problema real.

Las situaciones problemáticas se identifican porque empiezan a notarse comportamientos diferentes de los normales; hay señales visibles de que algo no está funcionando correctamente. Las quejas de los usuarios del edificio, el goteo del medidor, las colas de la fotocopidora, entre otros, son síntomas de que hay un problema. Alguien decía que cuando un conferencista se da cuenta de que su audiencia empieza a moverse inquieta en sus asientos es un síntoma inequívoco de que ya está cansada. Acción: finalizar rápido, pues si se pierde la atención no merece la pena seguir con la exposición.

Es necesario conocer la o las causas de estos síntomas. El esclarecimiento de la causalidad permite definir claramente el problema que es necesario resolver; permite conocer el problema real. Un profesor se quejaba ante sus estudiantes del ruido que hacían cuando entraban en el salón de clases; todos movían sus asientos y al hacerlo arrastraban el asiento o lo dejaban caer, produciendo mucho ruido. El profesor les pidió que plantearan soluciones al problema, pero primero sugirió que definieran cual era el problema en realidad. Hubo múltiples respuestas. Finalmente, el profesor sugirió que si el problema era el ruido investigaran el origen físico del ruido, la forma como se produce, el fenómeno físico que hay alrededor de esta situación. Al explorar en esta dirección se dieron cuenta de que el ruido se produce cuando se genera una vibración (arrastrar los asientos, soltarlos sin cuidado). En el caso del asiento que se arrastra, para disminuir la vibración es necesario disminuir el rozamiento. Sin entrar en más detalles, se pudo constatar que el problema se podría definir de la siguiente manera: hallar el modo de disminuir el rozamiento entre la patas de las sillas y el suelo. Claro, quedan otras causas del ruido que no se incluyen en esta definición. Esto es otro problema.

Lo importante del ejemplo anterior es que se necesita estudiar la situación problemática para encontrar las causas que la originan. Una vez en la posición de las causas puede definirse el problema.

Para encontrar las causas puede procederse de dos maneras diferentes, dependiendo del tipo de problema: la búsqueda de la relación causa efecto y el método científico. El primer enfoque se usa preferiblemente en aquellos casos en que se conocen posibles causas y es preciso determinar las más importantes. El método científico se implementa cuando existe un desconocimiento inicial sobre las causas del problema y se necesita un enfoque igual al empleado por los científicos en sus investigaciones.

Como todo problema abierto tiene múltiples soluciones hay que establecer que condiciones deberán cumplir las soluciones que se propongan para el problema. Algunas de estas condiciones son de obligatorio cumplimiento; son limitaciones o

restricciones; por ejemplo: la solución no debe costar más de 5 millones de pesos o debe entregarse antes de seis meses. Si la solución a un problema cuesta más de lo estipulado como máximo o su implantación supera los seis meses previstos, aquella no sirve.

Otras condiciones de las soluciones se refieren a los indicadores visibles que permiten medir la calidad de éstas son los denominados criterios de selección. En la medida en que las soluciones propuestas cumplan en mayor grado estos criterios, serán consideradas mejores que las otras que no los cumplan tan bien. Por ejemplo, si se especifica que es preferible una solución que consuma poca energía (se trata de algún aparato portátil), las que consuman menos serán preferidas a las que consuman más (analizándolas solamente con este criterio).

(...)

8.2. Relación causa efecto

Con frecuencia se afrontan numerosos problemas de diferentes orígenes: familiar, social, técnico, coyuntural, estructural, laboral, sentimental, entre otros. La lista de las diferentes categorías en las que se podrían agrupar los problemas es interminable. En todos los problemas hay efectos visibles (síntomas) que indican que hay una situación que necesita corregirse. El proceso de corrección o solución arranca con la identificación de las causas que originan el problema. A este proceso se le conoce como la *etapa de diagnóstico*. Una vez que se conocen las causas (o la causa) es posible desarrollar una estrategia que garantice el éxito de la solución.

Lamentablemente, en muchas ocasiones, el diagnóstico se efectúa de una manera superficial y las causas que salen a flote no son las que originan el problema, sino causas intermedias cuyo conocimiento sólo permitirá resolver temporal y parcialmente el problema planteado. (...)

La situación problemática se detecta porque hay síntomas que indican que algo no está trabajando normalmente. El síntoma visible es B, y la causa que lo origina es A. Sin embargo, un análisis superficial podría indicar que la causa es C y que, corrigiendo C se corrige el problema. Esto puede suceder y todo retorna a la normalidad durante un período, vuelve a presentarse la situación problemática, lo cual indica claramente que el problema no se corrigió adecuadamente. No se atacó la causa real.

Ejemplo 1

El proceso de enseñanza-aprendizaje proporciona situaciones muy interesantes que son ejemplos de soluciones imperfectas a los problemas que en esta actividad se generan.

Una situación típica se presenta cuando a un grupo de estudiantes le va mal en un examen. Los efectos visibles son las bajas notas que éstos obtienen. Es necesario conocer las causas de este problema para que no se vuelva a presentar. El diagnóstico elaborado por un grupo de profesores apunta a un excesivo nivel de las pruebas evaluativas; los estudiantes no estaban preparados para realizarlas adecuadamente.

La solución es obvia: reducir el nivel de dificultad de la prueba para que no se presente de nuevo el problema. Sin embargo, más adelante, la situación se repite, aun después de haber disminuido notablemente el nivel de dificultad de la evaluación.

El diagnóstico era incompleto y la causa del problema no se decretó realmente.

(...)

8.2.1. Diagrama de espina de pescado

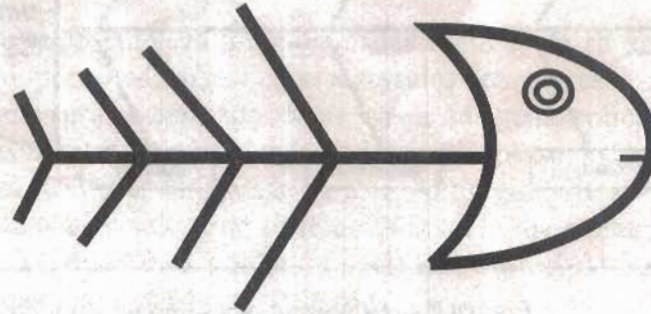


Figura 8.3. Pescado con cola, espinas y cabeza.

El diagrama de espina de pescado se desarrolló a lo largo de un proceso de investigación que se llevó a cabo en la industria manufacturera japonesa, en busca de una herramienta que permitiera identificar de una manera rápida y confiable las causas del excesivo número de piezas con defectos que salían de las líneas de producción. Aunque su origen se encuentra en un sector especializado de la industria, la aplicación del diagrama de espina de pescado puede extenderse fácilmente a todo tipo de situaciones. El nombre se deriva de la similitud que existe entre el diagrama y el esqueleto de un pez en el que solamente se representan la cola y las espinas, junto con su espina dorsal y la cabeza.

Aunque las causas a los problemas que se presentan son muchas, la mayoría de las mismas pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Se originan en las personas: pueden ser los que desarrollan una labor o los que reciben un servicio.
- Tienen su origen en los materiales, los recursos usados: aquello que se usa para fabricar el producto o realizar el servicio.
- Los procedimientos, los procesos seguidos en la elaboración del producto o en la prestación del servicio. También puede incluirse reglas seguidas, las prácticas utilizadas, las metodologías, y demás.
- El equipo usado, o la tecnología empleada para fabricar el bien o prestar el servicio.
- Finalmente, el entorno entendido como las condiciones físicas o afectivas que pueden influir en el proceso de desarrollo del producto o servicio.
- Otras posibles causas no incluidas en las anteriores categorías.

La construcción del diagrama de espina de pescado arranca colocando en la cabeza una brevísimas descripción del problema; solo lo fundamental. Sobre la espina dorsal se

coloca seis espinas principales cada una de ellas rotulada con uno de los nombres de las categorías mencionadas. (véase figura 8.4.)

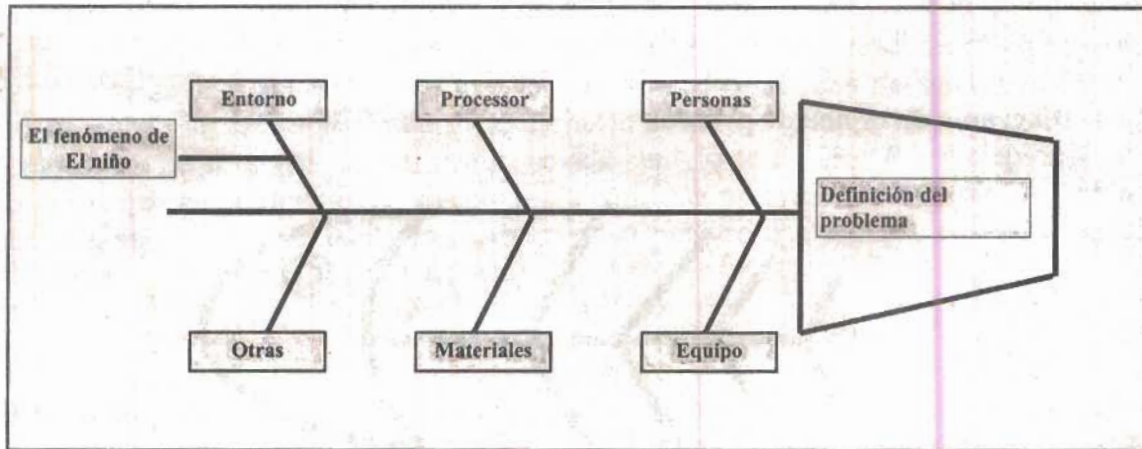


Figura 8.4. Diagrama de espina de pescado

El procedimiento para llenar el diagrama de espina de pescado es el siguiente:

- Se analiza el problema detenidamente; se hace una lista de las posibles causas para cada una de las categorías establecidas.
- Para cada posible causa se agrega una espina que sale de la espina mayor de la categoría. En el recuadro correspondiente se coloca el texto de la causa. (véase figura 8.4).
- Para cada una de las posibles causas se lleva a cabo el procedimiento de eliminación descrito anteriormente para quedarse con las causas posibles.

Un diagrama de espina de pescado con unas cuantas causas-espinas quedaría como la figura 8.5.

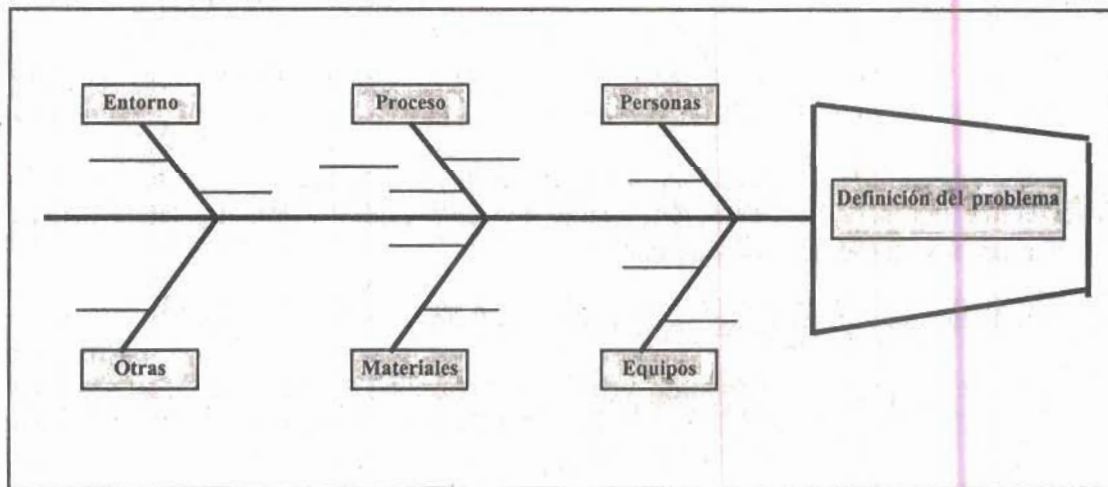


Figura 8.5. Diagrama de espina de pescado con algunas causas

Ejemplo 5

Una empresa dedicada al negocio de las fotocopias ha venido creciendo de una manera tan impresionante que el dueño decide ampliar la cobertura y abrir sucursales en otras partes de la ciudad. Para que las sucursales arranquen adecuadamente decide dedicarse personalmente a administrarla mientras dura el proceso de arranque; para la agencia principal encarga a un empleado de toda su confianza.

Con el paso del tiempo empieza a recibir malas noticias de su agencia principal; desde que la abandonó para dedicarse a las sucursales los ingresos han descendido radicalmente y lo que antes era un continuo entrar y salir de agente solicitando el servicio de fotocopias, se ha convertido en un lánguido flujo de personas que no producen ingresos ni siquiera para mantener la agencia abierta. Al preguntarle al encargado sobre las causas de lo que esta sucediendo, este responsabiliza a la mala situación económica que afecta a la ciudad. También dice que la competencia desleal de otras empresas de fotocopiado han hecho que los usuarios las prefieran.

Las explicaciones que da el empleado no convencen al dueño que decide investigar por su propia cuenta lo que esta sucediendo. Para ello monta un sistema de TV cerrado, disimulado entre el cielo raso del establecimiento, que permite grabar todas las actividades que se desarrollan en la empresa. Durante una semana mantiene una grabación permanente; el fin de semana examina la evidencia recogida durante la semana y observa escenas como estas:

Las puertas de la empresa se abren a las 8:30 a.m. cuando se debía abrir a las 8:00 a.m. Muchas personas que se encontraban esperando para sacar fotocopias deciden ir a otro sitio ante la tardanza en abrir el local.

Cuando por fin llegan los empleados y empiezan a atender el público, nota como la gente se queja de la mala calidad de la fotocopias y advierten que no volverán si el servicio no mejora.

A determinadas horas se forman colas muy largas que con el calor que hace provoca quejas a los usuarios por la falta de ventiladores. Al dueño le extraña esto, pues el negocio siempre había contado con un excelente sistema de ventilación que mantenía el local a una temperatura adecuada; no se explica las colas tan largas y solamente por el número elevado de fotocopadoras fuera de servicio entiende que solo unas cuantas funcionan, lo cual provoca esperas innecesarias y molestia a los usuarios.

- Observa horrorizado como un empleado le dice a un cliente que se queja del mal servicio: que "Si no le gusta vaya a otra parte".
- También advierte las copiadas de libros se hacen en otra parte, en una empresa que no es del dueño.
- Observa como en la misma cola se atiende tanto a usuarios que van a sacar una fotocopia o 50; cuando el atendía la agencia había una cola rápida para atender a

las personas con necesidad de fotocopiado de 10 o menos copias, para que el tiempo de espera fuera mínimo.

Después de ver toda la grabación y una vez analizada cuidadosamente, elabora un diagrama de espina de pescado que le muestra claramente las causas del problema que vive la agencia principal.

Para construir el diagrama de espina de pescado (véase figura 8.6) se dibuja el esqueleto con la espina dorsal, las espinas principales y la cabeza. La cabeza se rotula con una definición concisa del problema: ¿cual es el efecto más visible? Se esta perdiendo dinero, las ventas han descendiendo radicalmente. Este texto se escriba en la cabeza del pescado.

A continuación, sobre las espinas principales se escriben los nombres de las categorías principales de las posibles causas. Después, va confeccionándose una lista de posibles causas, cada una de las cuales se coloca como una espina secundaria sobre las espinas principales. Este proceso se lleva a cabo hasta que se agotan todas las causas. La palabra todas puede traer problemas, pues no existe una manera de saber cuando se han colocado todas; se entiende que se hace un esfuerzo razonable por determinar las causas más aparentes que se desprenden de la narración.

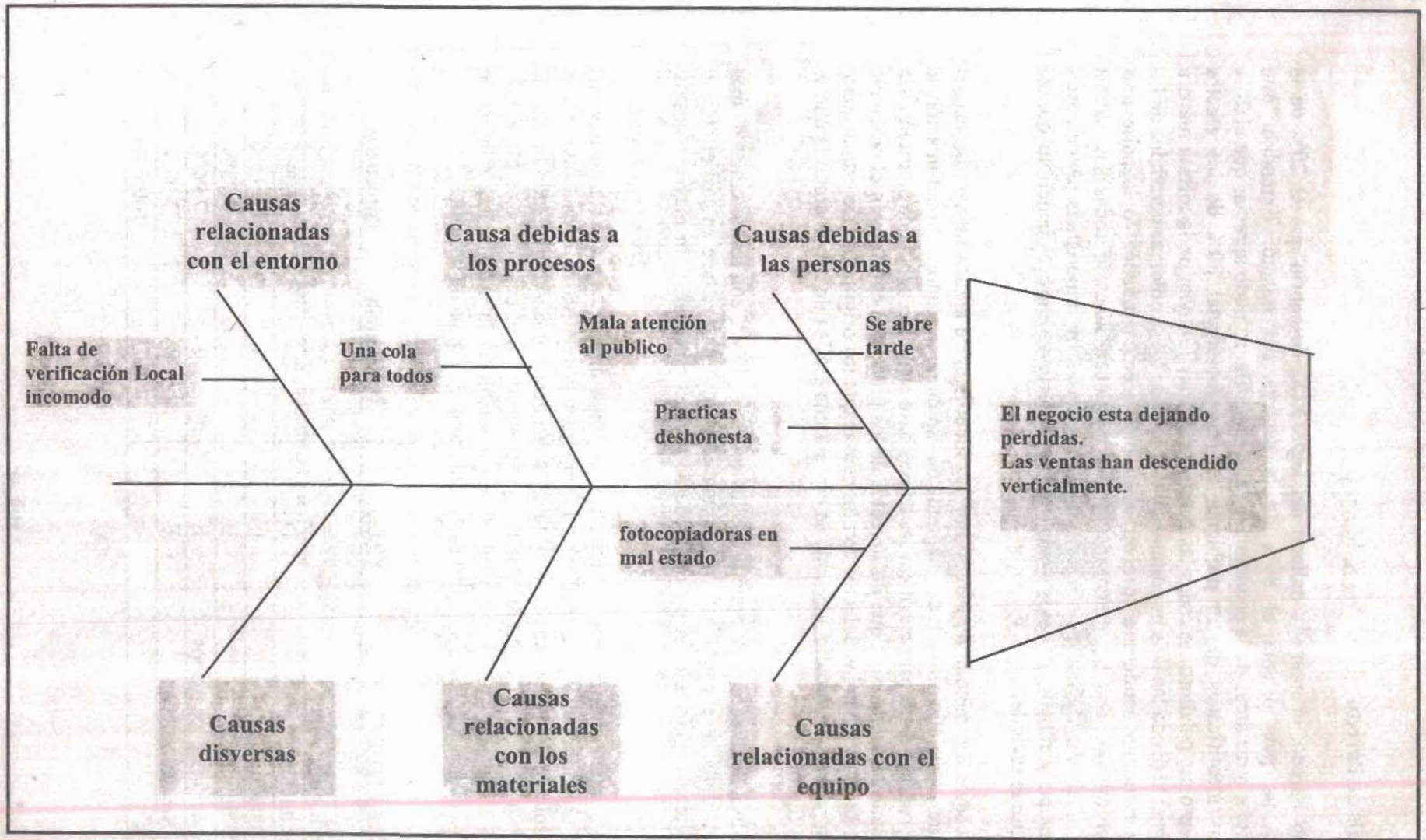


Figura 8.6. Diagrama de espina de pescado del ejemplo 5.

(...)

8.2.2. Análisis de Pareto

Vilfredo Pareto, economista italiano del siglo XIX, descubrió que el 20% de la población en un país ostenta el 80% de la riqueza del mismo. Extendido este descubrimiento a otras áreas de la economía y de la industria, se pudo apreciar que el 20% de las causas identificadas de un problema es responsable del 80% de los efectos indeseados. En otras palabras: no todas las causas señaladas influyen de la misma manera en un problema. Aislado las más importantes y resolviendo los problemas derivados de las mismas, este principio conduce a resolver el problema en la práctica; o la parte más sustancial del mismo. Eso no quiere decir que no deban atacarse todas las causas identificadas, sino que en muchas ocasiones eliminar causas sin importancia puede costar mucho en tiempo y dinero. No existe una relación adecuada entre el beneficio que se obtiene y lo que se invierte.

La aplicación del método de Pareto implica identificar de alguna manera las causas más importantes. Para ello se parte del diagrama de espina de pescado, y a continuación se aplica algún procedimiento para clasificar las causas base en su frecuencia de aparición. En la industria manufacturera, en la que los defectos de los productos constituyen el problema para resolver, se relacionan los defectos con las causas que los originaron. De esta manera, después de un proceso de estudio adecuado se elabora una gráfica de barras como la que se presenta en la figura 8.7.

Del análisis del diagrama se aprecia que las causas A, D y C son responsables de más del 75% de los defectos encontrados. Al eliminar estas causas se reduce en casi el 80% el número de defectos registrado; si las otras causas pueden eliminarse sin mayores costos, debe hacerse.

Cuando el análisis de Pareto se aplica a situaciones diferentes a la anterior hay que emplear otro procedimiento para establecer la importancia relativa de cada causa. En el ejemplo comentado, era relativamente fácil llegar a esa determinación; contando las piezas defectuosas y rastreando el origen del defecto. ¿Que sucede en el caso del ejemplo 8.5, la empresa de fotocopiado? ¿Como se puede llegar a establecer la importancia relativa de cada una de las causas identificadas a través del diagrama de espina de pescado?

| CAUSAS DE LOS EFECTOS | Código | Frecuencia | Porcentaje |
|-----------------------------------|--------|------------|------------|
| Mal ajuste de las maquina | A | 35 | 30.97% |
| Falta de capacitación | D | 34 | 30.09% |
| Buril en mal estado | C | 16 | 14.16% |
| Materia prima deficiente | B | 11 | 9.73% |
| Mala interpretación de los planos | E | 9 | 7.96% |
| Falta de una fase del proceso | F | 8 | 7.08% |
| Total de casos | | 113 | 100.00% |

Defectos encontrados



Figura 8.7. Análisis y diagrama de Pareto.

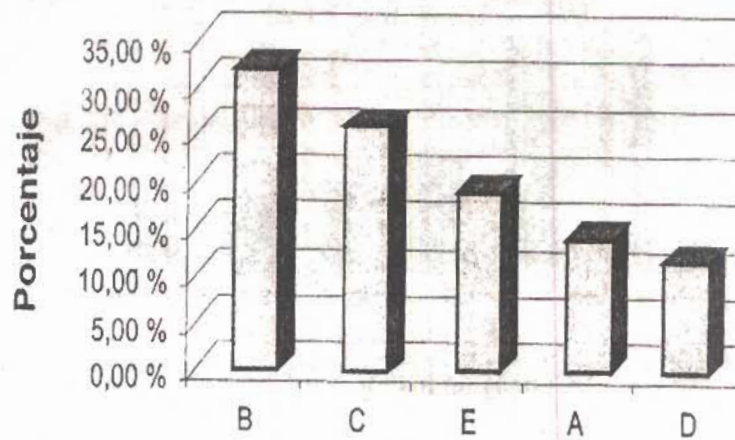
Ejemplo 6

El dueño de la empresa de fotocopiado decide asumir nuevamente la dirección y elabora una encuesta a través de la cual investigara la opinión de los usuarios (los pocos quedan) con el fin de cuantificar la importancia estos dan a cada una de las causas que el identificó cuando construyó el diagrama de espina de pescado. El resultado de la encuesta aparece en la figura 8.8.

Del análisis del diagrama de Pareto se aprecia que al corregir las tres primeras causas, correspondientes a las quejas mas frecuentes, se eliminan las causas de casi el 80% de las quejas: mejorar el mantenimiento de las fotocopiadoras de modo que al haber mas equipos disponibles se mejore la calidad de las fotocopias y se disminuya el tiempo en las colas; una campaña de capacitación a los empleados, así como la remoción del empleado que venia dirigiendo la empresa completan las medidas que el dueño del negocio implantará para recuperar la posición que tenia en el mercado.

Para satisfacer la curiosidad de los lectores, después de una ardua lucha la empresa de fotocopiado recuperó su posición, la mejoró y las sucursales dieron el rendimiento esperado (parece una película de Hollywood, en las que todo termina bien).

Quejas presentadas



Tipos de quejas

| Queja presentadas | Código | Frecuencia | Porcentaje |
|----------------------------|--------|------------|------------|
| Mucho tiempo en cola | B | 80 | 31.87% |
| Mala atención | C | 65 | 25.90% |
| Fotocopias de mala calidad | E | 48 | 19.12% |
| Local incomodo | A | 35 | 13.94% |
| No se abre a la hora | D | 23 | 9.16% |
| Total | | 251 | 100.00% |

Figura 8.8. Análisis y diagrama de Pareto para la empresa de fotocopiado.

(...)

8.3. El método científico

Cada disciplina emplea métodos diferentes para alcanzar los resultados que persigue. Los métodos usados dependen del tipo de situación que se vaya a resolver. En ingeniería, la solución de los problemas abiertos que se plantean exige un método similar al que se ha explicado en unidades anteriores. Sin embargo, en muchas situaciones los problemas que debe afrontar el ingeniero se escapan de la esfera a la que está acostumbrada; el comportamiento anormal de un computador en algunas situaciones no puede resolverse aplicando el método de diseño en ingeniería.

Aquí no hay nada que optimizar; se debe encontrar la causa que origina el problema. El ingeniero debe abandonar su casco de seguridad y ponerse la bata blanca del científico para abordar este tipo de problema y encontrar la solución.
(...)

El hecho de que el ingeniero deba comportarse a veces como un científico, introduce obligatoriamente al ingeniero en los métodos que usan otras disciplinas para conseguir otros resultados. En este caso se van a dar algunos pasos del método científico, empleado en las ciencias naturales para encontrar las causas de los fenómenos naturales, o de situaciones asimilables.

El objetivo de la ciencia es distinto del que persigue la ingeniería: la ciencia busca la verdad, aumentar el conocimiento. En esta búsqueda no hay mejor, ni peor; la ciencia es binaria: cada descubrimiento, cada correr la frontera del conocimiento, un milímetro más, implica haber encontrado la explicación de algo sobre lo que anteriormente solamente se tenían explicaciones fraccionarias, o visiones mitológicas; es un sí o un no. De todo esto se desprende claramente que en la ciencia se utiliza un método fundamentalmente diferente al empleado en la ingeniería.
(...)

Hoy día se acepta el método científico (inductivo-deductivo) como una única vía para obtener el conocimiento. La comunidad científica solamente avala como conocimiento nuevo, verdadero, todo aquello que puede ser reproducible y verificable. Si el doctor Patarroyo (eminente científico colombiano) dice que ha descubierto la vacuna contra la malaria y describe la forma como lo hizo, otros científicos en distintas partes del mundo deben ser capaces de replicar sus experiencias y llegar a los mismos resultados.

Hoy día es muy frecuente encontrar en revistas científicas informes de descubrimientos; sin embargo, después de un primer informe no se vuelve a escribir acerca de los mismos. La explicación es sencilla: se trata, en muchas ocasiones, de desarrollos inmaduros que al tratar de ser replicados por otras personas no dan el resultado esperado. En el actual mundo de las patentes y regalías, es muy tentador ser el primero en salir con una idea. Esto explica que en muchas ocasiones estos primeros pasos demuestren ser falsos y sea necesario callar y esperar hasta que el desarrollo este verdaderamente maduro.

La ciencia es ese mundo artificial que ha construido el ser humano y mediante el cual se explican los fenómenos naturales y se entiende el mundo. La ciencia es ese conjunto de

conocimientos racionales, sistemáticos, exactos y verificables obtenidos a través del método científico.

8.4. Pasos del método científico

El método científico incluye en los siguientes pasos:

1. Identificación de una anomalía.
2. Recolección de datos significativos.
3. Análisis de los mismos.
4. Elaboración de una explicación o la hipótesis.
5. Predicción de eventos futuros con base en la hipótesis.
6. Elaboración de experimentos para comprobar las predicciones.
7. Modificación de la hipótesis y repetición de los pasos anteriores.
8. Conversión de la hipótesis en teoría.

8.4.1. Identificar una anomalía

Tiene una clara relación con un paso similar del método de diseño en ingeniería: la percepción de que existe un problema. El científico se da cuenta de que unos hechos contradicen las leyes del paradigma vigente de la ciencia:

- Unos cuerpos en lugar de hundirse como lo hacen los demás, flotan en el agua.
- Dos piedras de distinto tamaño caen con la misma velocidad al ser soltadas desde determinada altura.
- El agua hierve a distinta temperatura en la cima de una montaña que al nivel del mar.

En algún momento de la historia el científico esperaba que objeto de distinto tamaño llegaran al suelo con distintos tiempos al ser soltados desde determinada altura; que todos los objetivos pesados se hundieran en el agua; que el agua hirviera a la misma temperatura en cualquier parte. El paradigma científico del momento no tenía explicación para estas anomalías.

Por lo general, el científico se enfrenta con multitud de hechos, datos, informaciones que pueden oscurecer las partes verdaderamente importante. Una de sus habilidades es aprender a distinguir lo esencial de lo accidental. Como lograr desarrollar esa habilidad forma parte de las características de los investigadores. Alguna vez a un gran escritor le preguntaron como había hecho para escribir tan bien; su respuesta fue muy simple: escribiendo. Hay habilidades, destrezas que solo se desarrollan practicándolas. Es importante que durante este proceso de desarrollo se disponga de personas expertas que guíen, de modo que no se generen malos hábitos desde el principio.

Como puede apreciarse, la fase inicial de la aplicación del método científico o del método de diseño es muy parecida; el ingeniero se da cuenta de que ciertos hechos son anormales. En el caso del científico, las situaciones que el conocimiento actual no puede explicar. Tanto el ingeniero como el científico van en busca de las causas.

Para la explicación de cada uno de los pasos del método científico se darán ejemplos tomados de varias de las disciplinas de la ingeniería. El mismo ejemplo se utilizará en cada uno de los pasos del método pero trabajando la característica específica del paso.

Ejemplo 7 (identificar una anomalía)

Cuando un programa de computador es mercadeado por una empresa pasa por varias pruebas que buscan posibles errores en el mismo. Es muy probable que durante un tiempo el programa funcione bien; pero después de unos meses, o años empiezan a fallar. Para hallar la o las causas de estos errores es necesario reportarlos indicando los efectos indeseables observados, en que circunstancias aparecieron, configuración del equipo utilizado, etcétera. Parecidos informes pasaran otros usuarios con similares o distintas observaciones. Una vez recibidos suficientes datos se procede a la etapa del análisis para encontrar consistencias entre los diferentes hechos anotados que apunten a las causas de los errores.

(...)

8.4.2. Recolección de datos significativos

Significa todo aquello que, a juicio científico, puedan tener relación con las anomalías que están investigándose. Debe realizarse un plan de trabajo con el objeto de efectuar una búsqueda sistemática de la información requerida. Comparar con otros entornos, buscar casos similares en épocas diferentes son algunas de las técnicas utilizadas regularmente en esta fase de la aplicación. Deben anotarse todas las situaciones estudiadas con todos los detalles del caso; en este momento no se sabe todavía con exactitud lo que esta buscándose, por lo que nada puede descartar se a *priori*. Se podría afirmar que en este momento se prefiere pecar por exceso que por defecto.

El científico busca razones, por que las cosas no ocurren como debieran; en este sentido actúa de modo parecido al ingeniero, solo que éste fija su atención en otro tipo de situaciones: como solucionar aquellas que afectan nuestra vida diaria, las que tienen que

ver con nuestro bienestar. Por que las comunicaciones se afectan tanto cuando ocurren explosiones solares, la razón por la que los discos duros de los computadores presentaban tantas fallas (inicialmente); el motivo por el cual el automóvil Corvette se partía por la mitad cuando sufría un accidente. El ingeniero busca como solucionar esos problemas; el científico busca la explicación de esos fenómenos. El objetivo final y el método empleado para alcanzarlo son distintos.

Ejemplo 7 (recolección de datos significativos)

Cuando se presentan problemas en un programa debèn anotarse todas las condiciones en las cuales ocurre la falla: configuración del equipo, qué otros programas se estaban usando simultáneamente, qué operación se ejecutaba en el instante de la falla, contenido de los registros de la CPU, efectos visibles del problema, datos de entrada, entre otros. Con toda esta **información** los ingenieros de sistemas de la empresa que diseño el programa podrán reconstruir la situación que originó el problema y detectar las posibles causas.
(...)

8.4.3. Análisis de los datos

Una vez se recogen los datos (nunca se sabe, inicialmente, si son suficientes), empieza a analizarse lo obtenido y se relaciona con los efectos visibles para encontrar relaciones causa efectos entre los mismos . De esta manera se descartan muchos datos que no tienen ninguna relación y se concentra la atención en los que, a primera vista, pueden conducir al descubrimiento de las causas del problema.

Ejemplo 7 (análisis de los datos)

Si el problema en un programa de cómputo tiene que ver con la impresión de un documento, se analizarán todos los programas y *drivers* que están relacionados con esta parte; se descartan, inicialmente, los restantes programas que manejan otros recursos del computador. Hay que recordar que la programación modular moderna permite delimitar fácilmente la parte del programa responsable de algunos errores.

Si el problema se presenta cada vez que se ejecuta una rutina de comunicación de datos, se empezará por examinar todo lo relacionado con la parte de comunicaciones: *drives* de los puertos seriales, configuraciones de los puertos RS 232, entre otros.
(...)

8.4.4. Elaboración de la hipótesis

Una vez analizados los datos y establecidas algunas relaciones entre posibles causas y, los efectos visibles, debe plantearse la explicación del problema, en términos más científicos, hay que elaborar la hipótesis. La hipótesis es la formulación precisa de la causa del problema.

Se hace una lista de posibles causas de la anomalía apoyándose en los factores estudiados más sobresalientes y se formula el enunciado que explica esa anomalía. Esta es la parte más sublime del acto del científico. En ese enunciado se recoge todo el conocimiento y el trabajo realizado por el científico durante muchos años. Posiblemente, el mundo conocerá de su existencia en los siglos venideros por esa hipótesis que, de ser cierta, se convertirá en ley que llevará su nombre. En el mismo sentido pero sin tantas pretensiones, el ingeniero una vez identificadas las posibles causas que generan el problema, crea un modelo que explica los efectos observados. Es lo mismo que formular una hipótesis.

Ejemplo 7 (elaboración de la hipótesis)

En el caso de los problemas relacionados con el mal funcionamiento de la impresora que se encuentra conectada a un computador, la hipótesis de trabajo, una vez analizados los datos disponibles, es la siguiente: el cable que une la impresora con el puerto paralelo no es el adecuado, o está estropeado.

(...)

8.4.5. Predicción de eventos

¿Que sigue después de la hipótesis? comprobar que es cierta. Si el ingeniero demuestra que su explicación del fenómeno es ajustada, puede seguir adelante con el diseño. Para comprobar que es cierto debe hacer dos cosas:

Generar una serie de hechos que pueden derivarse del modelo.

Comprobar experimentalmente que esos hechos se cumplieron, lo que demuestra que su modelo funciona.

Ejemplo 7 (predicción de eventos)

En el caso del computador conectado con un cable defectuoso a su impresora, deberá predecirse que al cambiar este, la impresión de los documentos se efectuará normalmente.

(...)

8.4.6. Elaboración de experimentos

Estos ejemplos le muestran al estudiante de ingeniería que en muchas ocasiones va a enfrentarse con situaciones en las cuales va a tener que actuar como científico; no se trata de averiguar el cómo. La pregunta es por qué ocurren determinadas cosas. Evidentemente el método empleado para llegar a la respuesta es distinto.

La comprobación de la hipótesis debe efectuarse obligatoriamente si se quiere tener argumentos sólidos para defender el punto de vista presentando en la misma; las predicciones que se efectúan con la base en la hipótesis deben comprobarse mediante experimentos, simulaciones con maquetas, modelos en el computador, ensayos en modelos reales en situaciones controladas, etcétera. Los datos obtenidos deben ser proyectados en el paso anterior: es decir, las predicciones deben concordar razonablemente con los resultados de los experimentos. Si esto ocurre puede aceptarse la hipótesis como verdadera y, en base en la misma, será posible generar las explicaciones que haya que darle a las anomalías observadas.

El análisis de los datos obtenidos experimentalmente se hace con herramientas de tipo matemático; lo que hay que hacer, en la mayoría de los casos, es comparar dos series de datos: unos obtenidos mediante proyecciones y los otros mediante experimentación. Si las dos series de datos guardan relación entre sí, podrán afirmarse que las dos series se correlacionan y que la hipótesis es aceptable.

En otros casos, la comparación no se hace con serie de datos sino que los resultados arrojados son del tipo verdadero o falso, existe o no existe, funciona o no funciona, entre otros.

Ejemplo 7 (elaboración de experimentos)

Al cambiarse el cable de la impresora por uno nuevo pudo observarse que la impresora empezó a trabajar normalmente. La predicción había funcionado correctamente. En este caso la comprobación no se llevó a cabo entre series de datos: funciona o no funciona.

(...)

8.4.7. Modificación de la hipótesis

Cuando los resultados experimentales no concuerdan con las predicciones es necesario evaluar todo el proceso. Si las diferencias son mínimas es posible que mediante ligeras modificaciones de la hipótesis se alcancen los resultados esperados. Pero si las diferencias son notables es preciso trabajar nuevamente todo el proceso, comenzando con la recopilación de datos. Algo falló: no se tuvieron en cuenta algunos aspectos que, con seguridad, aparecerán en una segunda revisión más cuidadosa.

Ejemplo 7 (modificación de la hipótesis)

Si al conectar el cable entre la impresora y la CPU no se hubiera obtenido la impresión esperada, se habría utilizado otro cable, sospechando que el anterior tenía algún desperfecto. Si tampoco hubiera funcionado habría sido necesario revisar todo el proceso desde el principio buscando síntomas a los que no se hubiera prestado atención al principio.

(...)

8.6. Definición del problema

Una vez detectadas las causas que originan el problema (causa efecto) o se valida la hipótesis que explica el porque de un determinado problema, es necesario entrar a definir el problema que se desea resolver.

Sin agotar la forma como se define un problema, las siguientes observaciones son útiles al respecto:

- En una definición hay que establecer qué se quiere hacer (un verbo que indica la acción).
- Precisar objeto sobre el que se desea ejecutar la acción del verbo.
- Un objetivo que se desee alcanzar, preferiblemente mensurable, de modo que pueda determinar en qué medida se logro resolver el problema.
- Nunca debe aparecer en el enunciado de la definición referencia alguna a la solución que está buscándose; ello iría en contra del principio que rige el método: cuántas más posibles soluciones se planteen mayor será la probabilidad de hallar la mejor.
- Adicionalmente, las soluciones que se planteen deberán cumplir ciertas restricciones.
- Con el fin de comparar las diferentes soluciones planteadas, será necesario establecer criterios de selección que permitan clasificar las soluciones de mejor a peor.

De todas maneras, la definición no debe estrechar innecesariamente el campo de las posibles soluciones; es preferible una definición vaga que permita elaborar una amplia lista de posibles soluciones a una definición que apunte directamente a una solución.

Ejemplo 11

Los estudiantes se quejan del tiempo que pierden esperando sacar fotocopias.

Este podría ser el resumen de un estudio que se hizo, ante las frecuentes quejas de muchos estudiantes de la Universidad sobre el funcionamiento del sistema de fotocopiado. Adicionalmente planteaban algunos problemas menores como la calidad y el precio.

Después de un análisis del problema se llegó a la siguiente definición del mismo:

- Diseñar (verbo, acción) un sistema de fotocopiado (objeto) que reduzca el tiempo de espera promedio a menos de cinco minutos (condición verificable).

- Las soluciones que se propongan no deberán considerar espacios adicionales a los que este momento ocupan las fotocopadoras. Tampoco se podrá aumentar el precio de las fotocopias. (Restricciones).
- Se preferirán las soluciones que rebajen el precio, disminuyan el tiempo de espera y mejoren la atención al estudiante. (Criterios de selección).
(...)

INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA,
Un enfoque a través del diseño. Pablo
Grech Mayor.-

9.- Generación de posibles soluciones

“Todo parece indicar que la habilidad creativa y la habilidad crítica no puede existir juntas en su mayor grado de perfección”.

Thomas Macaulay

Objetivos generales

- Aprender algunas técnicas para mejorar la creatividad personal.

Objetivo específicos

- * Identificar los rasgos más importantes de las personas creativas
- * Comparar varios modelos explicativos de la creatividad.
- * Describir el proceso creativo en ingeniería.
- * Identificar los obstáculos para ser creativos.
- * Usar varias técnicas para generar abundantes soluciones a un problema.

9.1. Introducción

El éxito en la aplicación del método de diseño en ingeniería descansa en la habilidad de los diseñadores para plantear un elevado número de soluciones posibles al problema en estudio.

El párrafo anterior condensa el núcleo del método. Si se falla en este paso, los resultados obtenidos son de dudosa validez.

De lo anterior puede concluirse: cuanto mayor sea el número de soluciones que se planteen, mejor. Si se plantea un reducido número de posibles soluciones, la probabilidad de que la solución escogida sea la mejor para el problema planteado será pequeña. Si se produce un elevado número de posibles soluciones, la probabilidad de que mejor solución se encuentre entre las planteadas será alta. De todas maneras, dado que no es un procedimiento analítico, siempre quedará en el tintero la pregunta: ¿se generaron suficientes soluciones posibles? o ¿hubiera sido necesario haber dedicado más tiempo a esta fase del método?

¿Cómo generar el mayor número de posibles soluciones? ¿Cómo saber cuando el número de soluciones generadas es suficiente? Cuando un estudiante o un profesional de la ingeniería se enfrenta con esta fase del método se encuentra limitado, generalmente, por dos aspectos:

- Superficialidad.
- Falta de creatividad.

En el primer caso, nuestro profesional se contenta con la primera solución que se le ocurre; la toma como la mejor y lo que sigue es desarrollar esa idea y convertirla en la solución buscada. La Probabilidad de que esa no sea la mejor solución es muy alta. Este es un problema de actitud: falta de actitud investigativa, ausencia de actitud crítica, conformarse con lo primero que se le ocurre.

La segunda causa es tan perniciosa como la primera; la falta de creatividad hace que el número de soluciones posibles que afloran sea muy reducido y de poca originalidad. Ante la frustración de la escasez de producción, nuestro ingeniero o estudiante de ingeniería opta por considerar que ya son suficiente las soluciones planteadas y continua con las etapas del método.

Para resolver la primera causa es necesario efectuar una modificación de nuestras actitudes; debe llegarse hasta el fondo, no contentarse con las soluciones obvias sino seguir buscando por otros caminos. Hay que desarrollar al máximo nuestra *habilidad analítica*.

Para la segunda causa es necesario desarrollar la habilidad creativa de nuestros estudiantes a fin de que les cueste menos trabajo y esfuerzo generar ideas originales, así como suficiente cantidad de soluciones posibles a los problemas que deberá resolver.

En este capítulo se introduce al estudiante en el apasionante tema de la creatividad, con el fin de que sea consciente de la posibilidad que tiene de mejorar sus capacidades de creativo, aprendiendo técnicas para mejorar su habilidad para resolver problemas, ser original y productivo.

Esta originalidad y productividad se alcanzan de una manera más efectiva cuando los interesados son conscientes del proceso creativo. Los expertos ofrecen diversos modelos que explican la forma como se desarrolla este proceso. Si bien estos modelos son aplicables a todas las áreas del conocimiento humano, resulta conveniente desarrollar uno que sea más aplicarse a los procesos creativos en el área de la tecnología. No es lo mismo el proceso que sigue un escritor para crear una obra literaria que un ingeniero para crear un reemplazo al *Mouse* usado en los computadores personales.

Sin embargo, el camino a la creatividad no está exento de dificultades; hay obstáculos que deben vencerse mediante actitudes adecuadas, así como usando técnicas que han demostrado ser eficaces para el desarrollo de las habilidades creativas.

(...)

9.2. ¿Qué es la creatividad?

No existe una definición precisa de creatividad, aunque los diccionarios ofrecen definiciones de términos relacionados:

- Crear: ser causa de que exista; originar; se produce algo de la nada; se produce usando la imaginación.
- Creativo: productivo; generador; innovador; imaginativo; original.

El problema inicial radica en llegar a un acuerdo sobre lo que se entiende por creatividad o, en términos más concretos, por creación. Crear implica combinar elementos que ya existen para generar algo nuevo. Se denomina creación a esta nueva combinación. Creador es aquél que genera esa combinación en una forma que es nueva para el y/o para otros. Creativo es aquél capaz de generar con facilidad nuevas relaciones entre objetos ya existentes. Por ende, creatividad es la cualidad de los seres creativos que les permite crear.

(...)

Si la creación resulta novedosa para mucha gente se acostumbra a denominarla innovación; cuando se trata de algo nuevo para todos, se denomina invento. También puede afirmarse que se inventa algo cuando ese algo es diferente de otras cosas similares que hacen lo mismo, pero lo nuevo lo realiza de una forma radicalmente diferente, o mejora su funcionalidad en uno o varios ordenes de magnitud. Por otra parte, la innovación puede verse como un subproducto de la invención: de la idea original que finaliza en un invento, se desprenden ideas de menor calibre que permiten mejorar el mismo invento o que se aplican a otros productos, procesos, aplicaciones, etcétera, mejorándolos.

(...)

9.2.1. Hemisferio izquierdo versus hemisferio derecho

Las personas creativas reciben nombres diversos: ingenioso, recursivo, brillante, imaginativo, original, listo, entre otros. Evidentemente, en estas denominaciones se aprecian rasgos de las personas creativas. No hay que relacionar necesariamente inteligencia y creatividad: no necesariamente un premio nóbel de matemáticas (¿quien duda de su inteligencia?) es un ser creativo. Por el contrario, muchos estudiantes que obtienen bajas calificaciones en matemáticas demuestran ser excelentes en asignaturas como la lógica, diseño de circuitos digitales, entre otros. Esto nos lleva a la siguiente pregunta: ¿podemos ser personas más creativas de los que somos.

Para encontrar respuesta a esta pregunta se debe recurrir a la psicología. Los psicólogos sostienen que el hemisferio izquierdo del cerebro (para las personas diestras) es el responsable de las funciones relacionadas con el razonamiento lógico, el manejo simbólico verbal y escrito; mientras que el hemisferio derecho maneja las funciones de razonamiento espacial y holístico. Desgraciadamente, nuestra educación ha estado dominada por el lado izquierdo. (...)

El aprendizaje con el lado izquierdo es más rápido, más fácil y más cuantificable que el del lado derecho; está hecho a la medida para el aprendizaje por objetivos. Los

estudios universitarios favorecen a los estudiantes más exitosos con operaciones del lado izquierdo, y estos estudiantes son posteriormente educadores. Una transformación que debería facilitarse en la educación en ingeniería sería el desplazamiento de la dependencia del hemisferio izquierdo y el énfasis en la respuesta precisa para incluir la parte no lineal derecha con su habilidad para el análisis holístico y para la síntesis.

Los psicólogos han catalogado a las personas de acuerdo con la predominancia de uno de los dos hemisferios: si el que predomina es el izquierdo, la persona tiende a ser racional y poco imaginativa; lo contrario ocurre cuando el lado que domina es el derecho: en ese caso la persona tiende a ser muy creativa pero poco organizada. Evidentemente que estos son los casos extremos: lo normal es encontrar personas que poseen habilidad creativa en cierto grado combinada con una mayor o menor racionalidad.

Existen test que permiten identificar el tipo de personalidad de cada individuo. Se han identificado cuatro tipos básicos de personalidad: el racional (Einstein), el artista (Hemmingway), el idealista (gandhi) y el líder (Truman). Cada uno de estos cuatro tipos de personalidad son una combinación de cuatro categorías de temperamento:

| | | | |
|-----------------------------|------------------|--------|-------------------------------|
| Forma de relacionarse: | extravertido (E) | versus | introvertido (I). |
| La forma como percibe: | intuitivo (N) | versus | percepción de los hechos (S). |
| En que se basa para decidir | sentimientos (F) | versus | objetivamente (T). |
| La manera como vive: | orden (J) | versus | flexible (P). |

Estos temperamentos dan lugar a 16 combinaciones posibles tomando una de cada par. Por ejemplo, ISTJ, ENTP, INTP,... Los inventores, con una marcada racionalidad, se encuentran mayoritariamente identificados con la combinación ENTP, mientras que los arquitectos se encuentran más bien identificados con la combinación INTP: Los ingenieros pueden caer fácilmente en cualquiera de los dos grupos, pues en ambos se satisfacen sus expectativas: crear máquinas y diseñar.
(...)

9.2.2. Modelos del proceso creativo

Ser creativo es una necesidad para los triunfadores del próximo siglo; la mayor riqueza que puede tener un país ya no son sus recursos naturales (oro, petróleo, uranio, comida,...); estos siguen siendo importantes pero no fundamentales para las economías de los países desarrollados. Hoy día tiene mayor importancia el poder creador de los habitantes de un país; la capacidad de abordar nuevos y viejos problemas con enfoques novedosos, distintos, diferentes, mejores.

Desarrollar, mejorar, aumentar la capacidad creativa de nuestros estudiantes debe ser una constante en todos nuestros encuentros, bien sea durante las sesiones formales (clases), como en las denominadas informales (eventos académicos o lúdicos), en nuestras conversaciones con ellos, en las consultas que nos hagan; en fin, en cualquier actividad que desarrollemos directa o indirectamente debe estar en primer lugar nuestro esfuerzo para ayudar a desarrollar su creatividad y la nuestra, por supuesto.

¿Cómo lograrlo? Es fácil decir el qué, pero no es lo mismo decir el cómo. Y menos en un tema en el que ni los expertos se han puesto totalmente de acuerdo. Pero se supone que será más fácil lograr éxitos en este campo si de alguna manera se conoce la forma cómo se genera una nueva idea, cómo se crea algo, como se realiza un descubrimiento, etcétera. Diferentes autores han explicado este proceso a través de diversos modelos; aunque los modelos propuestos no son iguales, si tienen aspectos en común. Mediante una adecuada comparación de esos modelos se pueden extraer algunas características comunes y formar con ellas otro distinto que contenga las partes fundamentales de todos con mayor aplicabilidad al campo de la ingeniería, por ejemplo.

Un modelo busca dar una explicación integral a una determinada clase de problemas de una forma holística. Los modelos sirven para explicar algunos fenómenos extraños para nosotros; nos permiten anticipar y estar preparados. Los modelos presentan la secuencia de los eventos, su conexión entre sí, patrones de comportamiento o aparición, flujo de datos y la organización de los diversos componentes que intervienen en el modelo.

Por ejemplo, existen modelos que explican el comportamiento de los mercados bursátiles mediante el uso de ecuaciones que describen como la oferta y la demanda llegan a un punto de equilibrio: cuando la oferta supera la demanda, baja el precio de las acciones. Esta baja hace que los interesados retiren de la oferta sus acciones (pierden dinero ante el bajo precio), lo que desata una escasez en la oferta que impulsa hacia arriba nuevamente las acciones, reanudando el ciclo de oferta ante la mejora del precio. Así mismo, los procesos inflacionarios se pueden explicar por un modelo similar al descrito anteriormente.

Así como se elaboran modelos para los procesos económicos, ecológicos, sociales, políticos,... también se diseñan algunos modelos para explicar cómo se desarrolla el proceso creativo. (...)

La comparación de estos modelos arrojan los siguientes resultados:

- Todo proceso creativo se encuentra estimulado por una necesidad; se dice que "la necesidad es la madre de la invención...." Nos movemos hacia delante cuando necesitamos vencer algún obstáculo; cuando hay algo que nos molesta; cuando queremos más, entonces desarrollamos nuevos productos, nuevos procesos, mejoramos lo que existe, le damos mayor funcionalidad.
- Es necesario conocer del tema sobre el que se va a trabajar. En nuestro cerebro ocurre el proceso creativo; es necesario suministrarle información para que de ella surja la idea genial. A veces las creaciones salen después de un corto periodo de estudio; otras veces tardan más. En realidad, es difícil creer que

alguien pueda producir algo novedoso si antes no ha trabajado en algo relacionado, o tenía estudio relativos al tema.

- Hay una fase de escape, en la que la mente humana deja que la semilla germine, sin imponerse prisas, ni urgencias. Es preciso en esta fase liberar a la mente de todas las ataduras posibles, dejarla sin camisas de fuerzas. Que deambule libremente por los valles del conocimiento y pruebe conexiones entre los mismos hasta que ... !Eureka! se encontró una conexión válida.
- Lo que viene después de la explosión creativa es un trabajo intenso usando las facultades típicas del hemisferio izquierdo del cerebro: organización de los datos, planeación del trabajo, realización de pruebas, análisis de los resultados, conclusiones y demás.

Cuando se trata de un producto de corte tecnológico, el proceso que sigue es más elaborado, como se podrá apreciar mas adelante. En los descubrimientos científicos es necesario comprobar el hallazgo mediante experimentos incontrovertibles que puedan ser repetidos en cualquier parte, por cualquier persona para demostrar que el descubrimiento es real. La vacuna contra la malaria solamente será aceptada cuando se compruebe su eficacia y esos solamente se logrará cuando demuestre que es efectiva, de acuerdo con los estándares mundiales que existen para comprobarlo.

Algunos modelos le dan más importancia a unas fases que a otras, pero podrían concretarse en :

Reconocer la necesidad.

Acumular conocimiento.

Buscar asociaciones pasiva o activamente.

Desarrollar el descubrimiento.

9.2.3. Obstáculos a la creatividad

Existen inhibidores que impiden desarrollar nuestra habilidad creativa. Los psicólogos han detectado como los más dañinos los siguiente;

- Hábitos: tendencia a descansar sobre lo seguro; aunque en si los hábitos son buenos, generan inercia al cambio, que es el motor de la creatividad.
- Fijaciones: costumbre de usar algo solamente de una forma, oscureciendo otras posibilidades. La imposibilidad de asignarles funciones a los objetos que manejamos habitualmente limita nuestra creatividad. Un improvisador es un individuo que no sufre de fijaciones.

El problema de la fijación funcional fue descubierto y bautizado por el psicólogo alemán Karl Duncker en 1930⁶. Sostiene que nuestro pensamiento se halla limitado por la experiencia y, una vez que aprendemos cómo trabajan las cosas, nos es difícil asociarles otros usos. Por ejemplo, una caja es algo para contener cosas; un martillo es

algo para clavar puntillas. Esta inflexibilidad de nuestra mente para asociar usos distintos a estos objetos las denominó *fijación funcional*.

(...)

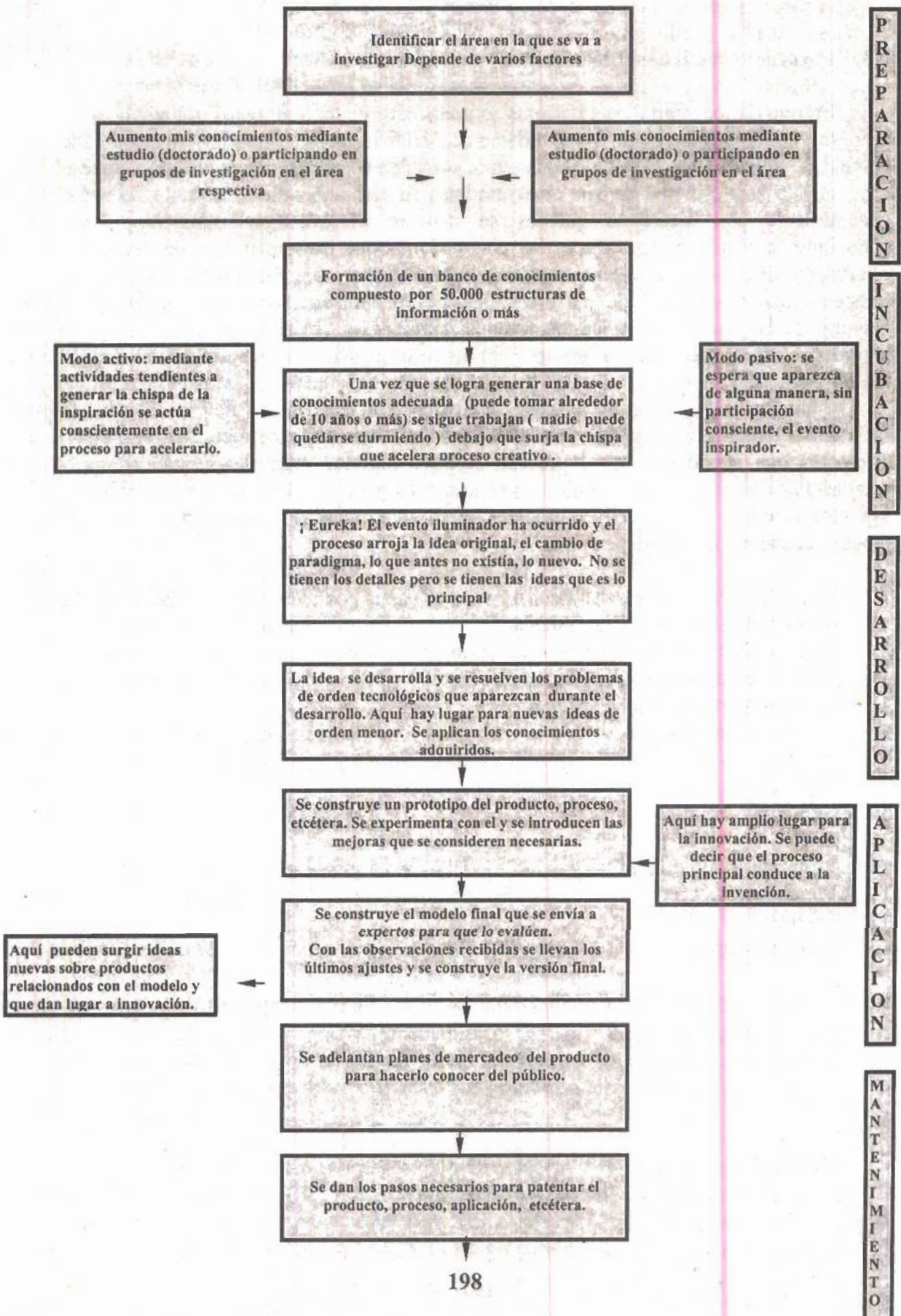
9.3. El proceso creativo en ingeniería

En uno de los apartados anteriores se presentaron varios modelos que explican el proceso creativo. Si se analiza detenidamente podrá observarse que hay una marcada coincidencia entre ellos, si bien cada uno potencia un determinado aspecto de ese proceso. No hay que olvidar que estos modelos se elaboran desde un punto de vista; generalmente son psicólogos quienes se dedican a investigar este campo del conocimiento y que muchas veces las conclusiones que presentan son derivadas del estudio de áreas como las ciencias sociales, medicina, ciencias naturales, entre otras. Existen muchos ejemplos de personas creativas y del proceso creativo y la gran mayoría de los mismos se relacionan con disciplinas diferentes a las que maneja la ingeniería. ¿Será que existe un modelo del proceso creativo en ingeniería diferente de los demás?

La ingeniería, y en general todo lo relacionado con la tecnología, tiene aspectos diferentes que introducen en el proceso creativo algunos matices que es necesario resaltar. Por eso se propone este modelo personal del proceso creativo en ingeniería que usa componentes de los demás modelos, pero individualizado en cierto modo. El proceso consta de las siguientes fases.

1. Identificación del área en la que se va a trabajar, posiblemente impulsado por la necesidad de resolver un problema.
2. Acumulación del conocimiento necesario para que el proceso pueda ser exitoso.
3. Incubación o reposo buscando asociaciones.
4. ¡Eureka! parto de la idea original.
5. Desarrollo tecnológico.
6. Prueba.
7. Perfeccionamiento.
8. Experimentación.
9. Ajuste.
10. Prototipo final.
11. Mercadeo.
12. Patentes.
13. Mantenimientos.

En la siguiente figura se ofrece un diagrama más descriptivo del proceso.



Se ejecutan continuas modificaciones, mejoras, ajuste, etcétera, al producto, con el fin de adecuarlo a los nuevos desarrollos, gustos del público, exigencias legales, etcétera.

9.4. Rasgos de las perso

Otra pregunta interesante y práctica es : ¿Cómo se conoce a una persona creativa? ¿Cuáles son los rasgos o indicadores de las personas creativas? Esta pregunta tiene una finalidad práctica: saber si yo soy creativo, si me parezco a esas personas. Los estudiosos del tema han logrado identificar unos rasgos o y indicadores principales y otros secundarios. En su orden de importancia se enumeran a continuación.

9.4.1. Originalidad

La originalidad es el rasgo más característico de las personas creativas. Ser original implica establecer relaciones que a nadie se le ocurren; los precursores del impresionismo, del cubismo, del surrealismo son ejemplos típicos de personas creativas. No tienen precedentes, consiguientes ni iguales. Son únicos. También el esquizofrénico de respuesta única a determinadas preguntas. Por eso hay tener cuidado al valorar los tests de originalidad. Se da un puntaje inverso a la frecuencia con que aparece determinada respuesta: cuando más común es la respuesta: menos original. En una curva normal, los extremos serían los más originales. Los tests de originalidad deben medirse relativos al lugar y al tiempo; no debe tratarse de igual forma a un grupo de habitantes del campo que a otro de la ciudad. Si se le pregunta a un niño del campo por el nombre de un combustible, sería original que respondiera el gas propano. Pero si la misma respuesta la diera un niño de la ciudad cosa menos original.

9.4.2. Flexibilidad

Refleja la capacidad de modificar comportamientos, de aceptar los puntos de vista opuestos y de generar alternativas. Antes el esbozo de una figura inconclusa, el flexible puede ofrecer múltiples terminados, cada uno con una concepción diferente.

El inflexible puede ofrecer soluciones siempre en la misma línea. Si le pregunta por actividades que lleva a cabo el agricultor en el campo dice, por ejemplo: coger manzanas, coger guayabas, coger peras, o coger fresas. En cambio, el flexible numerara actividades diversas: ordeñar las vacas, trillar el trigo, sembrar arroz, coger frutas. En una discusión ofrece diversos argumentos para defender su punto de vista: argumentos jurídicos, económicos, conveniencias para la empresa.

Todas las personalidades creadoras se han caracterizado por haber sido capaces de romper con los métodos, los temas, los planteamientos iniciales, en busca de otras realidades por que no les atrapan las ya existentes. Todas las innovaciones tecnológicas o artísticas conllevan esta flexibilidad para pasar de soluciones ya consagradas hacia la aventura de otras sin estrenar.

9.4.3. Productividad o fluidez

Aunque no tan de primera línea como los dos anteriores, la fluidez es un rasgo que tiene gran importancia en la técnica de tormenta de ideas, por ejemplo. Una persona creativa es capaz de producir una gran cantidad de respuestas por unidad de tiempo ante un determinado estímulo. López de Vega fue un prolífico autor de obras de teatros; decía el mismo:

“... en horas veinticuatro, de las musas al teatro”.

Picasso, Thomas Alva Edison, Miguel Ángel son ejemplos incontestables de prolíficos creadores.

9.4.4. Elaboración

Es la capacidad de completar una obra con detalles típicos, significativos, reveladores. En el arte se tiene el barroco como estilo muy elaborado; en la pintura de Velázquez se pueden apreciar todos los detalles del objetivo pintado: hasta el ambiente enrarecido de una habitación cerrada se aprecia en el cuadro de Las meninas. Un ingeniero de sistemas al desarrollar una interfaz gráfica amigable puede hacerla cuidándose sólo de los aspectos esenciales o incluyendo detalles que le ayudan al usuario a sentirse más a gusto al trabajar con ella. El diseño de la tortuga (turtle) en el programa LOGO, puede hacerse simbólicamente o dibujando la imagen de una verdadera tortuga. El Mouse o dispositivo apuntador usando en ambiente gráficos de computación ya viene en forma de ratón. En fin, la persona creativa tiende a ser detallista, cuidadosa de aspectos que pasan inadvertidos para otros.

9.4.5. Análisis

Es la capacidad para descomponer una realidad en sus partes y comprenderla mejor a partir de sus aspectos o componente. La capacidad analítica caracteriza a las personas creativas; son capaces de efectuar un análisis con profundidad, no superficial como, la mayoría de las personas. No se contentan con las causas aparentes; llegan hasta lo mas profundo, mostrando en este proceso todo lo relacionado con determinado problema.

9.4.6. Síntesis

Debe entenderse como la habilidad para resumir en pocas palabras una lectura, la habilidad de sacar conclusiones de un documento; la habilidad de ir a lo fundamental y dejar por fuera lo accesorio. En otro sentido, es la habilidad de escoger los componentes de un equipo para lograr realizar un trabajo.

9.4.7. Apertura mental

Todo creador esta insatisfecho con lo logrado, comprende que hay una cima que separa todavía lo ideal de lo real, lo que soñó con lo que ha alcanzado. La apertura significa que siempre se está abierto a superar cualquier solución, a seguir profundizando sin fin, a preguntar sin descanso el porqué o el para qué.

9.4.8. Comunicación o poder de convencimiento

Es la capacidad de llevar un mensaje convincente a otros. Es la capacidad del profesor de haber entendido una idea confusa; la del científico de poner en términos familiares una complicada teoría; la del publicista de convencer al público, para que consuma determinado producto, usando una imagen.

9.4.9. Redefinición

Capacidad para encontrar usos, funciones, aplicaciones diferentes a las habituales. En alguna parte se anotó acerca de las fijaciones que nos impiden ser creativo. Cada objeto tiene una función asociada a él; la persona poco creativa no es capaz de asociarle un uso diferente. Como vía de ejemplo, puede citarse la serie de televisión de Mc Gyver, un personaje de ficción, que con cualquier elemento es capaz de ejecutar funciones nunca previstas para el mismo.

9.4.10. Serendipia

El don de descubrir cosas por accidente. Facultad que poseen algunas personas para hallar cosas que son útiles a sus investigaciones o desarrollos sin estar buscándolas. La palabra se deriva del nombre antiguo de la isla Sri Lanka, serendip, y fue acuñado por el escritor inglés Horace Wallace quien en su novela Las tres princesas de Serendip cuenta como "mientras sus altezas avanzaban por la selva hacían descubrimientos, por accidente y sagacidad, de cosas que no estaban buscando...". Horace Wallace bautizó esta facultad con el nombre de Serendipity, que en castellano se traduce como serendipia.

La serendipia es una de las facultades más sobresalientes de los investigadores, inventores e innovadores; algunos autores atribuyen muchos descubrimientos científicos y desarrollo tecnológicos a la casualidad. Por ejemplo, se atribuye el descubrimiento de la penicilina (A. Fleming) a la casualidad: mientras Alexander Fleming se encontraba investigando en 1922 un cultivo de sus fosas nasales (estaba resfriado), se le escapó una lágrima que fue a parar en el recipiente que se hallaba el cultivo. Al día siguiente observó que en el espacio donde cayó la lágrima; habían desaparecido las bacterias; su sagacidad le hizo ver que la lágrima contenía una sustancia que era mortal para las bacterias pero no para el tejido humano. ¿Fue casualidad? Evidentemente que la caída de la lágrima en el recipiente fue casualidad; pero el resto de la historia es serendipia; don para hallar cosas útiles por accidentes y sagacidad. La historia está llena de situaciones similares: el descubrimiento de los rayos x, el de la dinamita, el caucho, el

polipropileno, el teléfono, las vacunas, entrevistas, entre otras, no se deben atribuir a la casualidad.

Louis Pasteur escribió: " En el campo de la investigación, la suerte solamente ayuda a la mente preparada". El descubrimiento, como el aprendizaje, es un fenómeno que tiene lugar en el cerebro humano. El cerebro configura un evento como un nuevo patrón basado en conocimientos previos presentes en el momento de la ocurrencia del evento. Lo que la suerte o casualidad es para la mente no preparada, puede ser el fascinante resorte de nuevas ideas para la mente lista. Lo que la mente necesita para establecer nuevas relaciones entre las miles de estructuras de información que permanecen en su cerebro es esa chispa, inspiración, accidente, serendipia, que dispara el proceso de conectar los valles de la información que surcan nuestro cerebro para formar uno nuevo que, posiblemente, dará lugar a un descubrimiento.

(...)

9.5. ¿Cómo ser creativo?

Todos ser humano, por definición, es un ser creativo; unos en mayor grado que otros. Todos nacemos con la capacidad de ser creativos. Algunos la desarrollan y la convierten en habilidades creativas; otros, nunca la usaron. Y con la creatividad pasa algo totalmente opuesto a lo que sucede con la mina de los lápices: si no se usa, se gasta.

Para saber si usted es una persona creativa, compárese con los rasgos que caracterizan las personas creativas, sobre todo en la originalidad. A medida que compruebe que hay muchas coincidencias, puede sentirse satisfecho, pues ello demuestra que es usted una persona con capacidad creativa. Para estar más seguro, vaya al Departamento de Psicología de su universidad y solicite que le hagan un test de creatividad. Los resultados le indicarán, cuantitativamente, en qué medida es usted creativo.

Existen formas de aumentar la creatividad de las personas; la creatividad como cualquier otra capacidad o facultad puede desarrollarse, aumentarse, perfeccionarse. Pero la condición sinequanon para que una persona incremente su capacidad creativa es

Su deseo sincero de querer ser creativo.

Sin este requisito no es posible llegar a ser una persona creativa. La creatividad esta íntimamente relacionada con la persona y con el contexto en el que ésta se desenvuelve. Hay contextos altamente propicios para desarrollar la creatividad; otros, por el contrario, son ambientes estériles en los que llegar a producir cualquier idea requiere un esfuerzo infinito. Tanto las características de las personas, como su contexto, pueden modificarse a fin de que se den las condiciones necesarias para que el proceso creativo pueda llevarse a cabo.

A continuación se dan algunas indicaciones que ayudan a las personas a ser creativas :

- **Manténgase en buena salud**

Se ha pedido comprobar que el acto creativo aparece más fácilmente en la personas que gozan de buena salud, que en las que padecen enfermedades. El acto creativo consume grandes cantidades de energía, que es necesario proporcionar a través de una dieta alimentaria adecuada.

- **Haga ejercicio**

El ejercicio cumple dos finalidades: en primer lugar ayuda a mantener la salud; en segundo lugar, durante los ejercicios tiene tiempo para pensar y generar espacios en los que las ideas aparecen fácilmente. Trotar, nadar son deportes que permiten combinar el ejercicio físico con el trabajo mental; mientras uno corre o nada, puede ir generando ideas, analizándolas, creando soluciones.

- **Escuche música**

La música inspira, especialmente cierta clase de música. Procure que no sea una música estridente, en la que haya cambios bruscos de volúmenes. La música clásica, jazz ligero, música instrumental, entre otras, son más aconsejables. Cada uno llega a la conclusión de qué música es la más apropiada.

- **Relaciónese con personas creativas**

Que generen ideas, que estimulen el proceso creativo. Uno acaba pensando según el tamaño del espacio en el que vive: si se rodea de gente que no piensa, que vive en una rutina continua, terminara contagiándose y cualquier intento de ser finalizada en el fracaso.

- **Trabaje duro**

Para conseguir ser creativo hay que trabajar y ser perseverante. Thomas Alva Edison decía que "un invento requiere 1% de inspiración y 99% de transpiración". Eistein lo decía de otra forma:

"Pienso y pienso por meses y años.

Noventa y nueve veces la conclusión es falsa,

En la número cien encuentro lo que busco".

- **Cuando esté cansado, descanse**

La generación de ideas se reduce dramáticamente cuando una persona está fatigada. Retírese a un lugar tranquilo, escuche música, escriba poemas, haga ejercicios suave,... Relájese; sólo así recuperará las condiciones que le permitirán seguir trabajando creativamente en un problema. De Bono llama a esto la "pausa creativa".

- **Aprenda técnicas para generar ideas**

Asista a congresos sobre creatividad, lea libros sobre el tema. Todo esto le ayudará a perfeccionar su talento creativo.

- **Sea receptivo a las ideas de los demás**

A veces uno se encierra en si mismo y el da vueltas y vueltas a un problema. Pasa por encima de la solución, la mira pero no la ve. Una palabra, una insinuación de una persona que está por fuera de este proceso, puede resolver el problema inmediatamente.

- **No tenga miedo a equivocarse.**

Edwin Land, inventor de la Polaroid decía:

“ Un aspecto esencial de la creatividad es no tener miedo a equivocarse”

- **Mantenga ocupada su mente con uno o más problemas, buscando su solución**

Alimente el inconsciente al irse a dormir. Deje que trabaje mientras usted descansa. Una gran cantidad de ideas geniales se han gestado en reposo.

- **Use su serendipia**

Programe sus sentidos para que reaccionen ante hechos, objetos, entre otros, que estén conectados de alguna forma con problemas que usted no ha resuelto. Cuando revise libros, diccionario, asista a conferencias, esté alerta: una palabra, una frase, un gesto puede disparar el proceso creativo interno y conducir a la solución tan buscada de un problema.

- **Lleve una agenda, una grabadora para registrar las ideas que vayan ocurriéndosele**

Está demostrado que esos impulso creativos si no se registran inmediatamente, se desvanecen con la misma facilidad que aparecen.

- **Fíjese metas para medir su progreso**

Establezca objetivos mensurables que le indiquen cuánto ha avanzado en su formación creativa. Por ejemplo, cada semana debo producir un número de ideas interesantes sobre un tema, que sea el 10% mayor que el de la semana anterior.

9.6. Técnicas creativas

A continuación se enumeran técnicas que se han desarrollado para mejorar el proceso creativo en sus fases iniciales, la generación de ideas. Cuantas más ideas se

puedan generar, mejor. De alguna manera, como alguien lo dijo, "la cantidad alimenta la calidad".

La lista podría ser mayor, pero éstas son las más útiles para el propósito del curso:

- Redefina el problema.
- Haga preguntas.
- La ruptura.
- Use pensamiento lateral.
- Imitación.
- Tormenta de ideas.
- Pensamiento divergente.
- Pensamiento convergente.

9.6.1 Redefina el problema

El planteamiento o definición de un problema señala la dirección en la que hay que buscar la solución. Este planteamiento puede estar sesgado, mal hecho, o haber sido escrito de tal modo que aumenta la dificultad para hallar la solución. Por ejemplo, cuando un muchacho le plantea al papá la falta de dinero para sus gastos, en estos términos "papá, el dinero que me das no me alcanza", la solución visible (sin pensar demasiado) es aumentar la mensualidad para que cubra todos los gastos del hijo. Pero el papá puede redefinir el problema planteado otros términos: "Hijo, estás gastando demasiado" lo que indica que la solución está por las vías del ahorro. Un mismo problema con dos líneas opuestas de solución.

Cuando se presenten dificultades para hallar soluciones a un problema, o cuando se desee obtener un mayor conocimiento del mismo, use el siguiente método:

1. Defina su problema al contrario. Cambie una sentencia positiva en una negativa:
¿Qué debo haber para que este programa no corra tan rápido?
2. Imagínese lo que los demás no están haciendo:
Los demás no usan Visual Basic.
3. Utilice el conocido "qué pasaría si..."
¿Qué pasaría si disminuyo la jornada de trabajo?
4. Cambie la perspectiva: deje enfriar el problema; de un paseo.
5. Intercambie resultados:
¿Qué debo hacer para sacar malas notas?
6. Convierta la derrota en victoria, o al revés:
Perdí el curso, pero aprendí que...

9.6.2. Haga preguntas

Tengo seis leales criados que me han enseñado todo lo que se.

Sus nombres son:

Qué y Por Qué y Cuándo y Cómo, y Dónde y Quién.

(Rudyard Kipling).

Haga cinco veces la pregunta ¿por qué? y encontrará la respuesta que está buscando.

“Doctor, la nómina no salió a tiempo”

¿Por qué no salió la nómina a tiempo?

Porque no nos entregaron los datos de las novedades en las fechas indicadas.

¿Por qué no entregaron los datos en las fechas indicadas?

Porque en las oficinas no sabían las fechas de entrega.

¿Por qué en la oficina no sabían las fechas de entrega?

Porque el mensajero llevó el memo con las fechas tarde.

¿Por qué llevó el Memo tarde?

Porque el mensajero está sin moto.

¿Por qué el mensajero está sin moto?

Porque no hay dinero en la caja menor para pagar la gasolina.

En definitiva, si hubiera habido dinero en la caja menor; la nomina se hubiera podido entregar a tiempo.

¿Qué?

¿Dónde?

¿Cuándo?

¿Cómo?

¿Por qué?

¿Quién?

Son las seis preguntas que nos dan todas las respuestas.

9.6.3. Ruptura

En la medida que nos acostumbramos a determinadas situaciones, estas se toman poco estimulantes para nuestro razonamiento. Es necesario romper nuestra rutina y hacernos preguntas estimulantes; cambie sus horas de trabajo, haga el trabajo de distinta manera, cambie su apariencia personal, lea libros diferentes a los habituales.

Cuando se cambia la manera habitual del ser, las nuevas ideas obligan a generar nuevos patrones, se llevan a cabo nuevas conexiones necesarias para comprender las nuevas situaciones. Use verbos como: agrandar, reducir, comparar, combinar, fantasear, adaptar,..., y observe el efecto que tiene sobre las nuevas ideas.

9.6.4. Pensamiento lateral

El pensamiento lateral, tal como lo define el diccionario de Oxford, es "buscar resolver problemas de una forma no ortodoxa o por métodos aparentemente ilógicos."

Es algo así como cuando me hacen una pregunta y salgo con una respuesta que , aparentemente, no tiene nada que ver con lo que me preguntan. Es una manera de explorar nuevos enfoques en lugar de usar siempre el mismo.

Por ejemplo para que el bebé me deje leer tranquilamente mientras el juega arrastrándose por la sala, me meto en el corral en vez de meterlo a él.

9.6.5. Imitación

"¿Qué es un invento?... Un plagio no detectado"

La mayoría de innovaciones o creaciones se basan en formas, objetos, procesos que ya existen. El submarino tiene forma de pez; el avión, de ave; imitamos al arco iris, entre otros. Newton dijo que "para ver mas lejos tuvo que subirse en hombros de gigantes", indicando que, necesitó los conocimientos de quienes lo precedieron para elaborar las teorías que explicaban el funcionamiento mecánico del universo.

No nos de miedo imitar. Después de la imitación viene la innovación y, finalmente, el invento.

9.6.6. Tormenta de ideas

En el mundo de la publicidad se desarrolló una técnica para generar ideas novedosas; la técnica consiste en reunir a un grupo de empleados del Departamento de Publicidad y dejar que cada uno de ellos exprese libremente las ideas que tenga sobre una campaña publicitaria. Nadie, ni el jefe puede interrumpir a la persona que esté exponiendo sus ideas; si alguien tiene una crítica, ésta se reserva para cuando la sesión hayan terminado. Esta postergación de la crítica de las soluciones es la base sobre la que descansa esta técnica. Con este procedimiento se generan ideas que de otra manera son difíciles de conseguir.

Para que esta técnica de los frutos esperados es necesario tener en estas pautas:

1. Todos los miembros del grupo son iguales; no hay jerarquía. Esta es una condición fundamental, pues de no ser así los miembros del grupo (en presencia de un superior jerárquico) no se atreven a lanzar ideas novedosas que pueden ponerlos en ridículo o, peor aún, poner en ridículo a su superior con las consecuentes repercusiones.
2. Hay un director cuya función es coordinar la marcha de la sesión. Este director no tiene jerarquía. Su función es coordinar la marcha de la sesión, dinamizarla cuando se encuentre en su punto más bajo, sugerir ideas para generar relaciones nuevas, lanzar palabras que disparen nuevas ideas, entre otras. El director debe tener condiciones de líder y ser experto en el área en la que está trabajándose.
3. El número óptimo de participantes es de 12. Un número menor no es adecuado para generar suficientes ideas. No existe la masa crítica. Por otro lado, un número excesivo no permite dar la palabra, en el momento oportuno, a quienes tienen una idea en la punta de la lengua. Cuando les toque el turno ya se les ha olvidado u otro dijo lo que el iba a decir y pierde la motivación.
4. La duración aconsejada de la sesión es aproximadamente 30 minutos. Si en este tiempo no se han producido ideas suficientes, hay que suspender la sesión y retomarla después de un descanso. Es posible que el grupo sea difícil y se requiera romper el esquema para buscar en otras direcciones. Ahí está la mano del director de la sesión.
5. La sesión termina cuando la tasa de generación de nuevas ideas decrece sensiblemente. Si se aprecia que la productividad empieza a bajar, debe detenerse o finalizar la sesión. Las ideas que aparezcan a continuación no son muy buenas y seguramente son escasas.
6. Un número aceptable de ideas por sesión es de 20 a 30. Sin embargo, si la sesión muy dinámica y las ideas fluyen a buen ritmo, debe permitirse que el proceso continúe, sin importar que este número sea superado.
7. No se debe criticar ni analizar ninguna idea mientras dura la sesión. Ningún gesto, palabra que implique un juicio negativo a cualquier idea, por loca que sea, debe permitirse durante la sesión. Como dijo el inventor de esta técnica, Alex Osborn: "Cuando vaya conduciendo en busca de ideas es mejor tener el pie lejos de los frenos".
8. Antes de comenzar la sesión el director debe aclarar las reglas que se seguirán durante la misma. En algunas versiones de esta técnica, se acostumbra darles a los participantes unos minutos para que reflexionen en silencio sobre el tema y vayan generando algunas ideas para comenzar la sesión.

La sesión se registra usando una grabadora o cualquier otro medio de transcripción que garantice la integridad de lo tratado en la reunión. Una vez finalizada se entra a analizar o criticar las ideas expuestas por los miembros del grupo.

Esta es una de las técnicas más usadas para generar ideas, aunque presenta algunos defectos que han venido corrigiéndose para adaptarla a ambientes diferentes al de la publicidad.

Desde el punto de vista del método de diseño en ingeniería, esta es la técnica que más se emplea. Se reúnen los miembros del grupo y empiezan a plantearse posibles soluciones al problema. Se sigue las reglas expuestas y al final se habrá conseguido acumular una cantidad de soluciones que permite asegurar que ahí está la mejor.

9.6.7. Pensamiento divergente

La solución creativa de problemas utiliza la técnica conocida como pensamiento divergente para generar el mayor número de ideas posibles sobre un determinado problema.¹⁶ En esta técnica se hace uso, principalmente, del lado emocional, creativo del cerebro (el derecho); las ideas generadas con estas técnicas se someten a una segunda fase, la racional, la de poner los pies sobre la tierra: el lado izquierdo del cerebro elimina las ideas que por sus características son irrealizables. Al aplicar inteligentemente esta combinación de golpes de derecha e izquierda en todos los procesos creativos, se finaliza con un sólido conjunto de ideas, y de ahí se escoge la mejor.

En resumen, el pensamiento divergente implica que:

1. Postergue la valoración de las ideas que están generándose.
2. Genere montañas de ideas.
3. Acepte todas las ideas sin discusión.
4. Deje reposar las ideas.
5. Busque combinaciones entre ellas.

El punto central del pensamiento divergente es la postergación de la valoración de las ideas hasta que llegue la fase siguiente, la del pensamiento convergente. Seamos irracionales por unos instantes; aceptamos todo lo que se nos ocurra.

INTRODUCCIÓN A LA
INGENIERÍA un enfoque a través
del diseño. Pablo Grech Mayor.

10.- Selección de la mejor solución

“Los problemas de ingeniería son abiertos, tienen muchas soluciones, buenas, malas e indiferentes.

El arte consiste en llegar a una buena solución.

Esto es una actividad creativa, que implica imaginación, intuición y selección intencional”.

Sir Ove Arup, ingeniero, (1985-1988)

Objetivo general

- Aprender una forma de seleccionar la mejor solución a un problema dado.

Objetivos específicos

- * Identificar aspectos que deben ser tenidos en cuenta para analizar la viabilidad de una solución.
- * Analizar la viabilidad de una solución a un problema dado.
- * Aplicar el pensamiento convergente.
- * Usar la matriz de selección.

10.1 Introducción

Una vez que se ha generado el mayor número de soluciones posibles, utilizando alguna de las técnicas examinadas en el capítulo anterior, es necesario seleccionar entre las mismas, la que cumple de la mejor manera posible, los criterios de selección y todas las restricciones impuestas.

Este proceso se desarrolla en dos fases: en la primera se descartan las soluciones que incumplen algunas de las restricciones o que, después de un análisis pormenorizado, no parezcan llenar satisfactoriamente los criterios de selección establecidos. Dicho de otra manera, las que parezcan difícilmente viables desde cualquier punto de vista se descartan en esta primera fase.

Las posibles conclusiones que restan se examinan detenidamente y se las compara usando la matriz de selección, al término del cual aparece la solución que mejor cumple los criterios de selección impuestos.

Es posible que dos o más soluciones tengan los mismos méritos, o muy aparecidos, para ser las aspirantes al título de mejor solución; si las diferencias que arroje la matriz de selección no son determinantes, deberá efectuarse otra serie de comparaciones para llegar a la mejor solución.

10.2. Pensamiento convergente

Es importante trabajar inicialmente algunos aspectos relacionados con la técnica conocida como pensamiento convergente. En un paso anterior del método de diseño, utilizando las capacidades del hemisferio derecho del cerebro, libremente, sin restricciones, se elaboró una larga lista de posibles soluciones al problema presentado. Muchas de esas soluciones se aceptaron según el principio de la valoración diferida, en el que cualquier juicio de valor (léase criticar, juzgar) se difiere hasta tanto se haya finalizado la ronda de producción de ideas o soluciones posibles.

Una vez finalizada esta etapa, el hemisferio izquierdo del cerebro toma el control de la situación y empieza a analizar la lista de soluciones elaboradas, descartando las que por alguna razón no parecen viables. En esta etapa, el término posible se reemplaza por el de viable. Una cosa es que exista una mínima probabilidad de que algo pueda llevarse a cabo (es posible), y otra, muy diferente, es que tenga posibilidades reales (es viable). Aquí se descartan las que no parezcan viables. Esta etapa es conocida como la de pensamiento convergente.

El lado izquierdo del cerebro, la racionalidad, toma control de la situación y obliga a poner los pies en la tierra. Se trata de examinar la viabilidad de las ideas que arroja la fase anterior. El pensamiento convergente es sistemático, lógico y crítico. Si la fase divergente es la fase creativa, la convergente es la racional.

Mantenga una actitud positiva; aunque las soluciones o ideas que se examinen no sirvan para el problema que está trabajándose, no las eche al cesto de la basura. Guárdelas; pueden servir para otras ocasiones. Siempre valore positivamente todo lo que examine. Hágase la siguiente pregunta:

¿Qué hay de bueno en esta idea?

Es la pregunta que debe hacerse cuando se analiza cada una de las ideas generadas. Esta actitud se denomina valoración afirmativa. Pero, por encima de todo, no hay que olvidarse del objetivo principal; de lo contrario no se resuelve el problema que se tiene entre manos.

Deben tomarse en cuenta las siguientes reglas cuando se aplique la fase de pensamiento convergente:

1. Enfocar la atención en lo que es más efectivo para resolver el problema.
2. No perder de vista el problema. Que el árbol no tape el bosque.
3. Guardar las ideas que no sirvan, para otra ocasión, para otro problema.
4. Cuando se evalúe una idea, se deben anticipar los posibles que puedan surgir más adelante.
5. Debe adoptarse una actitud positiva ante las ideas que se examinen.
6. No hay que desalentarse si no aparecen resultados inmediatamente.
7. No perder de vista los objetivos.

10.3. Viabilidad de las soluciones

La etapa de generación de posibles soluciones debe producir un gran número de alternativas; su razón de ser radica en que ofrece un camino efectivo para llegar a la solución buscada, sin entrar a examinar a priori si cumple o no las restricciones impuestas. En general, puede afirmarse que una idea es viable cuando su desempeño técnico, su costo y el tiempo que lleva implantarla están dentro de lo aceptable, de acuerdo con el estado del arte en el momento.

Como directrices pueden tenerse en cuenta los siguientes aspectos para determinar si una solución es o no viable.

- ◆ Aspectos técnicos
- ◆ Aspectos económicos
- ◆ Aspectos de tiempo
- ◆ Aspectos humanos

10.3.1. Aspectos técnicos

Para responder la primera parte pueden hacerse preguntas como las siguientes:

¿Se violan leyes físicas? ¿Se sobrepasan limitaciones establecidas?

El diseño de una nevera puede conducir a dimensiones que le impiden pasar por las puertas de tamaño estándar en nuestras casas.

¿Se puede llevar a cabo con los recursos y tecnología disponible?

(...)

Se propone un sistema de información para las elecciones presidenciales que presente la información en forma instantánea; para ello se requiere un sistema de

comunicaciones y de computación que rebasa las disponibilidades tecnológicas del país. Debe contarse con un sistema de comunicación en cada uno de los puestos de votación conectado a todo el sistema vía satélite y a un computador central que consolide toda la información. Posiblemente viable en otros países, más no en países del Tercer Mundo.

¿Su nivel de desempeño es competitivo con productos similares?

Se propone un computador portátil que consume más energía que los que existen actualmente en el mercado.

¿Es fácil de reparar? ¿Es fácil de usar?

Hace algunos años, la Ford sacó al mercado un carro subcompacto que se entregaba con una herramienta de uso múltiple que servía para aflojar y apretar las tuercas, tornillos, del 80% de las partes del automóvil, con lo que la reparación del mismo se hacía más sencilla. Por el lado opuesto, no es imaginable que para cambiar las bujías haya que desmontar una gran parte del motor.

¿Se consiguen piezas de repuesto fácilmente? ¿Se consigue software?

Una de las razones por las que muchas casas de software no desarrollaron programas para la arquitectura microcanal de los microcomputadores PS/2 de IBM fue la ausencia de una base instalada suficientemente grande que justificara la inversión. A su vez, muchas empresas electrónicas no desarrollaron tarjetas para los PS/2, debido a que no había suficiente software para esos equipos. Hay que procurar estar siempre con los estándares: UNIX; WINDOWS, sistemas abiertos, ISO 9000.

¿Es razonablemente seguro?

Los juguetes para niños de corta edad no deben presentar filos, no deben ser tóxicos, su tamaño no debe permitir que sean tragados por un niño. (...)

El mundo occidental da por desconectada la calidad de los artefactos que se ofrecen; exige, adicionalmente, una presentación agradable. En realidad, una de las industrias que mayor índice de desarrollo ha alcanzado es la de los empaques.

(...)

El desarrollo de interfaces gráficas agradables (user friendly) es una de las áreas más trabajadas actualmente en ingeniería de sistemas.

¿Posee capacidad de adaptación a futuros cambios?

La tecnología de computación avanzada a una velocidad tan grande que cada 18 meses se lanza al mercado un procesador más poderoso que el existente a un precio menor. No es posible imaginar que cada 18 meses haya que cambiar los equipos; es necesario elaborar diseños que permitan actualizarlos en forma efectiva. Por ejemplo: algunos equipos que usan el procesador 80486 se venden con un socket para insertar un procesador Pentium y actualizar el modelo, a uno de mejores prestaciones.

Un programa debe desarrollarse de modo que sea independiente de una determinada arquitectura para que pueda adaptarse fácilmente a los cambios que aparecen en el futuro, como consecuencia del uso de procesadores y diseños arquitectónicos más avanzados.

10.3.2. Aspectos económicos

En relación con el aspecto económico, algunas preguntas pertinentes pueden ser:

¿Se dispone de fuentes de financiación seguras?

Hay que asegurarse de que exista un cronograma de desembolsos garantizado. En la mayoría de los proyectos con entidades oficiales existen problemas en el pago de los dineros de los contratos; muchos ingenieros civiles quiebran sus empresas por confiar ciegamente en sus contratantes. Al no recibir el dinero oportunamente deben recurrir al crédito bancario y extrabancario con el consiguiente incremento en los costos de las obras emprendidas. El papeleo que involucra a muchos organismos oficiales, impide obtener los fondos necesarios a tiempo, y se pierden oportunidades como descuentos, ofertas, entre otros. En muchas ocasiones, la demora es tan grande, que el proyecto debe suspenderse y cuando se reanuda su valor de oportunidad ya no es significativo: ya hay otros productos en el mercado similares o mejores al proyectado. El dinero es un factor clave; ningún proyecto debe comenzarse sin tener un esquema de financiación asegurado plenamente.

¿Su costo es mayor que el de otros productos similares?

No tienen sentido desarrollar un producto cuyo costo sea superior al de otros similares existentes en el mercado. En algún momento a Colombia llegó la fiebre de construir un microcomputador personal nacional. Se usarían componentes fácilmente accesibles en otros países, y en Colombia se ensamblarían todas las partes. Se deseaba que el porcentaje de componentes colombianos fuera alto. Entre los componentes que se pensaba fabricar en Colombia estaba la carcasa del equipo. Dado que las industrias metalmecánicas es uno de los sectores más desarrollados en el país, parecía fácil cumplir esta meta. Se hicieron los análisis de costos y se llegó a la conclusión de que hacer la carcasa en Colombia resultaba varias veces más costoso que traerlas ya hechas.

En efecto, el material con que están hechas las carcasas no se fabrica en el país y es necesario importarlo; dar la forma a las carcasas exige un troquel que cuesta varios cientos de miles de dólares. Para recuperar el valor del mismo sería necesario fabricar, por lo menos, varios cientos de miles de computadores, lo que estaba por fuera del mercado colombiano. Adicionalmente, la pintura que recubre la lámina es especial ya que se deposita mediante un complejo horneado, tecnología que en Colombia es muy escasa y resultaría muy costosa. En definitiva, el estudio demostró que era mucho más económico seguir importando las carcasas de otros países que ya tenían la infraestructura montada y podían producir carcasas a precios con los que no se podían competir.

¿Su relación costo/beneficio es aceptable?

Las palabras caro y costoso son usadas indistintamente para referirse a un producto cuyo precio es muy alto. Sin embargo, significan cosas distintas. Cuando algo cuesta mucho, es muy costoso; quiere decir que hay que pagar mucho dinero, en términos absolutos:

- Un Rolls Royce es un auto muy costoso.
(...)

Sin embargo, en ningún caso se ha usado el término caro, pues caro implica que por lo que se paga no se recibe algo proporcional en calidad. Caro es aquello que cuesta mucho pero sin la calidad adecuada:

- Un vehículo que cueste poco pero que exige altos costos de mantenimiento, continuas reparaciones, fallas frecuentes, es un vehículo caro.
- Un Rolls Royce es un vehículo lujoso, cómodo, nunca falla, silencioso, da mucho prestigio. Los personajes del jet set no creen que sea caro.
(...)

En lugar de caro, en términos económicos se utiliza la relación:

$$\text{costo/beneficio} = \text{cuánto cuesta / beneficio produce}$$

- El diseño de un Mouse que utiliza tecnología láser para apuntar a la pantalla, a un costo altísimo no se justifica. El beneficio obtenido (¿cuál?) no justifica el costo del producto.

¿La tasa de retorno de la inversión es atractiva?

Para desarrollar un proyecto se necesitan 10 millones de dólares. No se poseen; se consigue un socio capitalista al que se le expone la idea. Como no es una persona altruista sino práctica, lo primero que preguntará será por la tasa interna de retorno, TIR, que refleja, aproximadamente, el interés que recibe por sus 10 millones invertidos en el proyecto. Por ejemplo, si el amigo inventor le dice que los estudios de viabilidad económica arrojan un TIR del 16%, el socio capitalista, seguramente, decide no invertir, pues el mismo dinero colocado en bonos del gobierno le puede producir más de 26%, y puesto a intereses extrabancarios puede darle más del 40%. Por tanto, es indispensable que todo proyecto de ingeniería sea rentable; que su rentabilidad sea superior a la que ofrece otros negocios del mercado. Para aquellos proyectos que no sean rentables, pues implican mucho desarrollo básico, es necesario recurrir a financiamiento de entidades estatales o de fundaciones sin ánimos de lucro.

¿Los costos son tan altos que la idea es a todas luces no viable?

Nadie va a patrocinar el desarrollo de un sacacorchos que exija muy poca fuerza para que un niño de un año lo puede usar. Para lograrlo se requiere un complicado sistema de cilindros y bombas, que asistan en el proceso de extracción del corcho. Evidentemente, con un poquito menos de parafernalia técnica, haciendo un poco más de fuerza, se puede rebajar los costos. No se justifica que el 80% del costo del extractor se justifique solo porque un niño lo puede usar: ningún niño de un año tiene que abrir una botella.

10.3.3. Aspectos de tiempo

El factor tiempo es muy importante; en algunos casos es el elemento que define si una idea tiene sentido o no.

En el caso de un desastre natural se desea que la solución a las necesidades de los afectados sea inmediata; por ejemplo hay mucha gente muriéndose de frío, sin refugios, muriéndose de hambre, sin comida, sin vías de comunicación. La solución no solamente debe ser buena, debe poder implantarse ya.

Técnicamente, puede haber muchas soluciones excelentes pero lo que se necesita es una no tan buena, quizás, pero que pueda ponerse a funcionar ya. Algunas preguntas a este respecto pueden ser las siguientes.

¿El tiempo requerido esta dentro de márgenes aceptables?

Los Habitantes de las riberas del río Páez, en Colombia, quedaron incomunicados con el resto del país debido a la avalancha que arrasó con la mayoría de los puentes que existían. Las soluciones propuestas incluían la construcción de sólidos puentes que resistieran futuras avalanchas (tiempo estimado, dos años), la construcción de puentes colgantes (un año) y la construcción de puentes militares (tres semanas). Evidentemente, la solución definitiva no era la de los puentes militares, pero teniendo en cuenta el factor tiempo, era la única solución aceptable, por lo menos a corto plazo.
(...)

¿Se han tenido en cuenta imprevistos?

Todo proyecto implica una serie de actividades, y cada una de ellas requiere determinado tiempo. Sin embargo, resulta muy difícil calcular exactamente cuántos meses requiere desarrollar un proyecto de software. La ingeniería de software ha desarrollado métodos que permiten definir cada vez más precisamente los tiempos que se emplean en desarrollar los programas, dependiendo del tipo de programa, de la experiencia de los programadores, del lenguaje empleado, entre otros. Con estas herramientas, se puede llegar a una exactitud en la estimación del tiempo necesario de hasta el 20%. Sin embargo, es necesario hacer un poco de prospectiva y analizar el

entornó para percibir síntomas que anuncien problemas que puedan interferir con el cronograma de desarrollo del proyecto.

Sin embargo, hay situaciones que nadie puede predecir: por ejemplo la caída del muro de Berlín, la apertura de los mercados mundiales, la crisis financiera del sudeste asiático. Pero hay otros casos en que sí se puede pronosticar: una disminución de chips de memoria debido a la destrucción de las fábricas en el Japón, como consecuencia de un terremoto, el aumento en el costo de los componentes electrónicos, debido a la mayor exigencia ambiental, impuesta por las administraciones gubernamentales,... Muchos proyectos, al final cuestan más del doble de lo originalmente proyectado, debido a que no se tuvo en cuenta la ocurrencia de imprevistos que pueden alargar los proyectos y, consecuentemente, aumentar los costos.

10.3.4. Aspectos humanos

Finalmente, hay aspectos humanos que deben tenerse en cuenta. La mayoría de estos se han comentado en párrafos anteriores; sin embargo, un comentario adicional no sobra. Como vía metodológica para explorar este aspecto pueden hacerse las siguientes preguntas:

¿Cumple las regulaciones ambientales?

Cada vez son mayores las exigencias que se imponen a los productos en relación con la preservación del medio ambiente. El uso de materiales reciclables, no consumidores de energía, no consumidores de papel, no contaminantes, son aspectos que deben tomarse en cuenta en la selección de alternativas para la solución de problemas.

Un sistema de automatización de oficinas que eliminen completamente el uso del papel, es mejor que otro que haga uso de considerables cantidades del mismo.
(...)

¿Es éticamente aceptable?

Algunos desarrollos se han basado en experimentación con seres humanos.

Los nazis, durante la segunda guerra mundial, utilizaron prisioneros de guerra experimentado con ellos en busca de soluciones a los problemas que aquejaban a sus tropas en el frente de batalla.
(...)

Muchas universidades católicas tienen prohibido realizar experimentos con fetos humanos, aunque sea con el loable propósito de avanzar en el conocimiento de la vida humana.

Estos son ejemplos muestran algunos aspectos éticos que pueden servir de guía a la hora de examinar la viabilidad de una alternativa.

¿Tiene en cuenta los hábitos socioculturales de la población a la que se dirige?

No tiene sentido imponerle a las poblaciones indígenas de los países andinos, soluciones que van en contra de sus tradiciones. Algunas de las culturas, de la costa pacífica siguen usando la tradición oral para transmitir el conocimiento de generación en generación. El uso extensivo de libros, material escrito, ..., no conduce al éxito de un proyecto educativo. Es necesario incluir en las especificaciones del proyecto las restricciones que tengan en cuenta este tipo de consideraciones.

¿Su uso genera enfermedades profesionales?

Estar sentado continuamente frente de un computador puede generar enfermedades profesionales en la visión; en la columna vertebral, en la región lumbar.

El continuo uso del Mouse puede generar ciertas atrofas en los músculo de la muñeca.

(...)

El software que no es amigable para el usuario, puede producir en él niveles de irritación tan altos que crea hábitos violentos de comportamiento.

¿Es cómodo?

Uno de los dispositivos mas utilizados actualmente es el Mouse o ratón. Del ratón original a los que actualmente se ofrecen en el mercado hay una enorme diferencia; en todos los nuevos diseños se busca la comodidad. Hay ratones que se adaptan perfectamente a la mano; hay ratones para zurdos; hay ratones inalámbricos que se comunican con la CPU mediante ondas electromagnéticas o rayos infrarrojos. La comodidad es uno de los aspectos que más caracteriza a las sociedades desarrolladas.

(...)

¿Es de agradable presentación?

Junto con la comodidad, la presentación es uno de los factores que ayudan a que un producto penetre y se consolide en un mercado. Por ejemplo, siguiendo con el tema de los Mouse, se han diseñado unos con la forma de verdaderos ratones para que los niños se sientan atraídos por el computador (quizás así las niñas pierdan el miedo a los ratones).

Se podría alargar la lista con otras preguntas; sin pretender ser exhaustivo, lo presentado es un ejemplo de cómo debe manejarse el análisis de las soluciones derivadas de la etapa de pensamiento divergente o técnicas similares. Se acostumbra usar una matriz que recoge todas las anteriores preguntas y permite concentrar en un solo cuadro las ventajas relativas de cada una de las alternativas.

(...)

10.4. Matriz de selección

La matriz de selección es una estructura de información que reúne, en forma compacta, todos los datos necesarios para determinar cual es la mejor solución al problema presentado, tomando como entrada las soluciones que pasen el examen de viabilidad del paso anterior. La forma de la matriz de selección se muestra en el cuadro 10.2.

| Soluciones \ Criterios | Criterio I | Criterio II | Criterio III | Criterio IV | Total |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|
| | Peso = x% | Peso = y% | Peso = z% | Peso = w% | |
| Solución A | Nota otorgada = a Puntaje = a * x | Nota otorgada = b Puntaje = b * y | Nota otorgada = c Puntaje = c * z | Nota otorgada = d Puntaje = d * w | Total A |
| Solución B | Nota otorgada = m Puntaje = m * x | | | | Total B |
| Solución C | Nota otorgada = n Puntaje = n * x | | | | Total C |

Cuadro 10.2. Matriz de sección generalizada.

Las filas representan las distintas soluciones que entran en la competencia final; en las columnas se colocan los diferentes criterios que sirven para seleccionar la mejor solución. En la celda de cada criterio se coloca el valor o peso que se le asigna al mismo, usando el método de comparación por pares estudiado en el capítulo 9.

En cada una de las celdas intersección de una solución y un criterio, se coloca la nota o calificación que a esa solución se le da. En otras palabras: se reúnen un grupo de expertos para que analicen el grado de cumplimiento de un determinado criterio para una solución específica. Por ejemplo, ¿cuál es el grado de cumplimiento del criterio I para la solución A? Cada miembro del grupo asigna un puntaje (por ejemplo, de 0 a 10:0 mínimo cumplimiento; 10 cumplimiento total) a esa solución. Lo mismo se hace con las demás soluciones y criterios. Al final, en cada celda, se tiene la nota o calificación respectiva.

Acto seguido se multiplica cada nota por el peso del criterio respectivo; una vez que se ha hecho esto para todas las celdas, se suman horizontalmente y se coloca en la última columna (totales) la suma. Se Comparan los valores de los totales y el que de mayor corresponde a la mejor solución.

Es posible que la diferencia en los valores que arroje la matriz sea pequeña; la diferencia es menor que el nivel de incertidumbre que se maneja a lo largo de todo el proceso. Es conveniente, en este caso, analizar algunos aspectos un poco más detalladamente para tener, finalmente, una razón más sólida que apunte a la mejor solución.