

01171
2ejº 1

HACIA UN TRATAMIENTO AXIOMATICO DEL CONCEPTO DE SISTEMA

JOSE IGNACIO GARCIA OLVERA

T E S I S

Presentada a la División de Estudios de Posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN INVESTIGACION DE OPERACIONES

Cd. Universitaria, a 16 de marzo de 1988

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

R E S U M E N

Considerando por un lado, la importancia que tiene en cualquier rama de la ciencia, el establecimiento de un marco teórico de referencia y, por el otro, la confusión existente en la literatura sobre los conceptos sistémicos, se planteó la necesidad de este estudio dedicado a elaborar una definición general del concepto de sistema.

Se hace imperativo analizar las diferentes fases del proceso cognoscitivo, para ubicar dentro de éstas a los dos paradigmas que generan dicho concepto.

Esto hace posible construir una definición global, que puede traducirse a un lenguaje lógico-matemático, con el objeto de darle un carácter riguroso.

Finalmente, se realiza un somero análisis de algunas definiciones existentes en la literatura, que permite situarlas como un caso parcial de la elaborada en este trabajo.

INDICE

1.	INTRODUCCION	1
2.	EL PROCESO DE CONOCIMIENTO	4
2.1	PRIMERA FASE DEL PROCESO COGNOSCITIVO	7
2.2	ETAPA DE CONSTRUCCION	16
2.3	ETAPA DE MODELACION	27
2.4	LA ORGANIZACION DEL PROCESO COGNOSCITIVO	34
3.	EL CONCEPTO DE SISTEMA	41
3.1	PARADIGMA SISTEMICO DEL PRIMER TIPO	43
3.2	PARADIGMA SISTEMICO DEL SEGUNDO TIPO	54
3.3	FUSION DE AMBOS PARADIGMAS	59
4.	FORMALIZACION SISTEMICA	68
4.1	FORMALIZACION DE LAS CONSTRUCCIONES DEL PRIMER TIPO	69
4.1.1	Axiomas de tiempo	70
4.1.2	Axiomas del CSI y su entorno	72
4.1.3	Axiomas del Canal	78

4.2	FORMALIZACION DE LAS CONSTRUCCIONES DEL SEGUNDO TIPO	79
4.2.1	Axiomas de liga y estructura	81
4.3	HACIA UNA FORMALIZACION DE LA CONSTRUCCION GENERAL	84
5.	GENERALIDAD DE LA DEFINICION	88
5.1	LA POSTURA DE R. ACKOFF	90
5.2	EL ENFOQUE DE M. ARBIB	92
5.3	LA IDEA DE L. BERTALANFFY	95
5.4	LA DEFINICION DE E. KALMAN	96
5.5	LOS TODOS DE O. LANGE	98
5.6	LA TEORIA DE M. MESAROVIC	101
5.7	LA CONCEPCION DE A. RAPOPORT	102
5.8	LA DEFINICION DE L. ZADEH	103
6.	CONCLUSIONES	106
7.	BIBLIOGRAFIA	108

1. INTRODUCCION

Desde su nacimiento, en la década de los treinta, la nueva corriente de la teoría general de sistemas ha levantado como bandera, el propósito de establecer un lenguaje común, que pueda ser utilizado en las diferentes disciplinas especializadas, surgidas como resultado natural del desarrollo de la ciencia, en su búsqueda por resolver situaciones problemáticas.

En la actualidad, las ideas de sistema han penetrado en las diferentes disciplinas de la ciencia y la ingeniería, y prácticamente, no existen áreas en donde no se usen los sistemas en forma explícita.

Sin embargo, el hecho de que este movimiento sea relativamente joven (medio siglo de vida, es poco tiempo en el desarrollo.

de cualquier ciencia o teoría), acarrea como resultado que existan diferentes escuelas que, en ocasiones, son contradictorias, aunque unidas por el mismo término.

Esta situación, además de producir confusión entre los nuevos estudiosos de los sistemas, perjudica el desarrollo de investigaciones debido a que, frecuentemente, produce paralelismo y redundancia, así como errores por el uso de herramientas que no corresponden a los problemas.

Todo esto ha motivado a desarrollar el presente estudio, que busca analizar, exponer y formalizar la experiencia propia que ha surgido en los últimos veinte años en el área, con el objetivo de proporcionar una definición axiomatizada del concepto de sistema.

En este sentido, se consideró indispensable analizar el proceso cognoscitivo (capítulo 2), para visualizar el papel de sistema en sus diferentes etapas y, basándose en esto, es posible definir los paradigmas que producen el enfoque sistémico.

Es así que para definir el concepto de sistema general (capítulo 3), se optó por concebir el proceso de su construcción, tanto a nivel empírico, esto es, identificando en la realidad un sistema como algo real, como a nivel teórico, es decir, en un constructo o un modelo visto como sistema.

Con base en estos resultados, se formalizan las definiciones correspondientes en el lenguaje de Teoría de Conjuntos y Lógica-matemática (capítulo 4), considerándose que la rigurosidad es un requisito indispensable para eliminar las fuentes de los posibles errores de ambigüedad y mala interpretación, que surgen cuando se utiliza el lenguaje cotidiano.

La definición del Sistema General desarrollada se considera eficiente, tomando en cuenta dos criterios, por un lado su aplicación a estudios en Planeación e Investigación Interdisciplinaria de Desastres, frecuentemente referidos en este trabajo y, por el otro, la generalidad, para la cual se analizaron las definiciones de una serie de autores, cuyos enfoques y contribuciones se consideran importantes (capítulo 5).

2. EL PROCESO DE CONOCIMIENTO

Desde que el hombre vino al mundo y tuvo como principal preocupación el procurarse los elementos necesarios para su supervivencia, pudo apreciar que el conocimiento de las cosas que le rodeaban le brindaba mayor oportunidad para llevar a cabo sus tareas con mayor eficiencia y menor esfuerzo o al menos para sobrevivir. La adquisición de este conocimiento le condujo a lograr cierto desarrollo que, a pesar de que le confería la realización de tareas más complicadas, le rendía un mayor provecho. Todo esto fue propiciando un interés creciente por conocer y explicar todas las cosas que le rodeaban, reforzado, aún más, por medio del proceso de la selección natural*.

* Se supone que esta calidad de curiosidad y búsqueda se heredaba a lo largo de los sobrevivientes, mientras las personas carentes de ella, terminaban en los estómagos de los animales o sucumbían ante los peligros correspondientes de su época.

Este proceso de explicación y conocimiento de las cosas ha sufrido diferentes modificaciones a lo largo de la historia, dentro de las cuales, pueden distinguirse dos líneas: por un lado, la utilización práctica que ha generado un conocimiento empírico espontáneo, derivado del perfeccionamiento de los instrumentos de trabajo, de la ampliación del círculo de objetos utilizados y de la acumulación de la experiencia*; y por el otro, un conjunto de conocimientos quasiteóricos** que ha abordado el problema de explicación de los fenómenos, ocupando una élite cada vez más exigente y rigurosa, considerada por toda la comunidad, en su época, como portadora de verdad y juicio, digna de crédito y veneración, que formó la futura casta de científicos***.

Estas dos líneas, a través de su contradicción dialéctica****, han originado el desarrollo acelerado del conocimiento que, a su vez, condujo al nacimiento de la ciencia moderna.

* Cfr. Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de URSS. Metodología del Conocimiento Científico, Presencia Latinoamericana, México, 1985.

** Son los que dieron origen a las futuras teorías científicas.

*** En la división social del trabajo, se destaca, cada vez más explícitamente con el paso de los siglos, la labor intelectual, a diferencia de la física, como una actividad cognoscitiva o científica, realizada por las personas especialmente preparadas.

**** En una de sus principales obras, Hegel menciona: "El capullo desaparece al abrirse la flor, y podría decirse que aquél es refutado por ésta; del mismo modo que el fruto hace aparecer la flor como un falso ser allí de la planta, mostrándose como la verdad de ésta en vez de aquella. Estas formas no sólo se distinguen entre sí, sino que se eliminan las unas a las otras como incompatibles. Pero, en su fluir, constituyen al mismo tiempo otros tantos momentos de una unidad orgánica, en donde lo aparentemente contradictorio es una necesidad que constituye la vida del todo", en G.W.F. Hegel, Fenomenología del Espíritu, Fondo de Cultura Económica, México, 1966.

Sin embargo, a pesar de que en la época moderna ya no existe más la necesidad de supervivencia personal, al menos en forma tan manifiesta como en tiempos prehistóricos, uno de los factores determinantes del desarrollo de la ciencia, constituye la necesidad práctica de la identificación y solución de los problemas apremiantes, que exige el progreso de la sociedad en su entorno turbulento.

Es por esto que una de las características más importantes de la ciencia continúa consistiendo en su capacidad de conocer, explicar y controlar la realidad.

Esta capacidad depende, principalmente, del proceso epistemológico de producción de conocimiento, por lo que este capítulo se dedica a su somero análisis, primeramente, identificando las *formas epistemológicas**, como medios de observar ciertas partes de interés del mundo real (subcapítulo 2.1), para elaborar los *constructos* como sus representantes (subcapítulo 2.2); y posteriormente, se analiza el proceso de la elaboración de modelos como sustitutos de los constructos, en el proceso de investigación (subcapítulo 2.3): finalmente, en el subcapítulo 2.4, se sintetizan los procesos analizados en los primeros

* Se optó por presentar los términos introducidos por primera vez, en este trabajo con este tipo de letras; su definición se da en los lugares adecuados.

subcapítulos y se presenta el proceso de conocimiento como una integridad organizada.

2.1 PRIMERA FASE DEL PROCESO COGNOSCITIVO

El punto de partida para analizar el proceso de producción de conocimiento sobre la realidad, consiste en la suposición primaria de la existencia de la misma, por lo que es conveniente iniciar, dando ciertas definiciones y planteando algunos postulados*.

POSTULADO 2.1 La realidad existe.

DEFINICION 2.1 Se llama cosa** a cualquier parte

* Como se ha mencionado en la introducción, el planteamiento de los postulados permite declarar en forma explícita las creencias que no se examinan en este trabajo, a pesar de que, en otro contexto, si pueden ser objeto de discusión. Esta es la línea que marca el método científico y que, también, es la base de las matemáticas, en donde la justificación de sus postulados o hipótesis se basa en la aplicabilidad y eficiencia de los resultados obtenidos.

** El concepto de cosa es considerado como uno de los conceptos trascendentes de la filosofía. En el Diccionario de Filosofía J. Ferrater, Ed. Sudamérica, Buenos Aires, 1969, se enfatiza que "a veces se considera que las cosas son las entidades individuales, y en particular las existencias materiales individuales" y, además, es frecuentemente ligado con el concepto de substancia, lo que permite hablar sobre "la cosa con sus propiedades". Asimismo, Heidegger ("La cosa", Revista de la Universidad Nacional de Córdoba, XI, 1953, 3-20) se refiere a la cosa, en el sentido de "lo que importa" y, especialmente, en "lo que en general de algún modo es" y también "el objeto". Esta larga nota si no aclara mucho el concepto de la cosa, al menos muestra su complejidad y, además, justifica la postura escogida en este estudio de acudir a las definiciones explícitas y concretas, a pesar del peligro de disminuir la generalidad del análisis.

sustancial de la realidad; en este sentido, la unión de varias cosas es una cosa y, por tanto, las partes de una cosa son también cosas*.

POSTULADO 2.2 Entre las cosas se distingue a una clase particular, llamada de *observadores***.

DEFINICION 2.2 Observador es la cosa que tiene la capacidad de percibir directamente o darse cuenta, a través de las manifestaciones indirectas, de la existencia de una cosa.

La característica que define al observador, esto es, su capacidad de darse cuenta de la existencia de una cosa se debe a la presencia de dos tipos de elementos: los de *percepción* y los de *raciocinio*. En estos dos elementos, por separado, se basan las posturas polares en el desarrollo de la ciencia; la empirista clásica que considera que la investigación debe realizarse mediante el uso exclusivo de la percepción, y la racionalista clásica que indica lo contrario, es decir, la búsqueda del conocimiento es exclusivo del raciocinio***.

* Este concepto coincide con la formalización que hace Bunge en M. Bunge, Things, International Journal of General Systems, 1974, Vol. 1, No. 4 pp. 229-236.

** Este postulado está de acuerdo con la famosa afirmación de Engels: "El hombre es aquel vertebrado en el que la naturaleza llega a tomar conciencia de sí misma" en F. Engels, Dialéctica de la Naturaleza. Ediciones Quinto Sol, México, 1972, pág. 36

*** Ackoff se refiere a estas dos posturas en su análisis de la objetividad del investigador, mostrando su dependencia con ciertos sistemas de valores, en R. Ackoff, The aging of a young profession, Operations Research, University of Pennsylvania, 1976.

El proceso cognoscitivo real, y especialmente en su primera fase*, que inicia cuando el observador entra en contacto con la realidad, se basa en el uso simultáneo o sincronizado de los dos elementos mencionados. Rapoport habla sobre un reconocimiento instantáneo que permite determinar el objeto de observación, tal como de un organismo en estudios biológicos o de ciertos eventos en los sociales**.

La influencia ejercida por los elementos de raciocinio (ER), sobre los elementos de percepción (EP), determina una cosa en particular y algunas de sus manifestaciones en especial para su observación.

Rapoport** al respecto, también menciona que los hechos como tales siempre se seleccionan, ya que por un lado, es imposible tomar en cuenta todos los hechos y, por el otro, no tiene sentido hacer una selección aleatoria, por lo que siempre se necesita tener cierta dirección***. Mientras que Kuhn**** afirma

* El hablar de primera fase del proceso cognoscitivo es relativo, tomando en cuenta que existen fases anteriores, cuando se formaron los elementos de raciocinio; sin embargo, considerando que el investigador va a la realidad para el estudio de alguna cosa y lo inicia por primera vez mediante la observación, se optó por llamarle primera fase.

** A. Rapoport, Methodology in the Physical, Biological, and Social Sciences, General Systems Yearbook, Vol. XIV, 1969, pp 179-186.

*** Esta dirección depende, como se ha mencionado y se reforzará más adelante, de los elementos de raciocinio.

**** T.S. Kuhn, Paradigms and some misinterpretations of Science, Philosophical Problems of Natural Science, Dudley Shapere (Ed), The Macmillan Company, 1971b, pp 83-90.

que las observaciones dependen de los lentes con que se realicen, los que define con el término *paradigma*, cuyo análisis se da posteriormente.

Es así que los EP orientados por los ER permiten obtener los datos de las cosas, esto es, sus características cualitativas o cuantitativas puestas de manifiesto, a través de la observación y medición, como una actividad avanzada de la primera (fig 2.1-1) y, en esta forma, se tiene la siguiente:

DEFINICION 2.3 El producto de la actividad del observador se llama *imagen* de la cosa en el campo *empírico*.

Posponiendo en este momento la pregunta sobre el origen de los ER, es posible interpretarlos en el sentido del conocimiento *a priori* que considera Kant*, como la condición necesaria en el proceso de obtención de conocimiento, lo que resulta en los dos siguientes postulados:

POSTULADO 2.3 Todo conocimiento se inicia con la experiencia.

* E. Kant, *Crítica de la Razón Pura*, Ed. Porrúa, México, 1977.

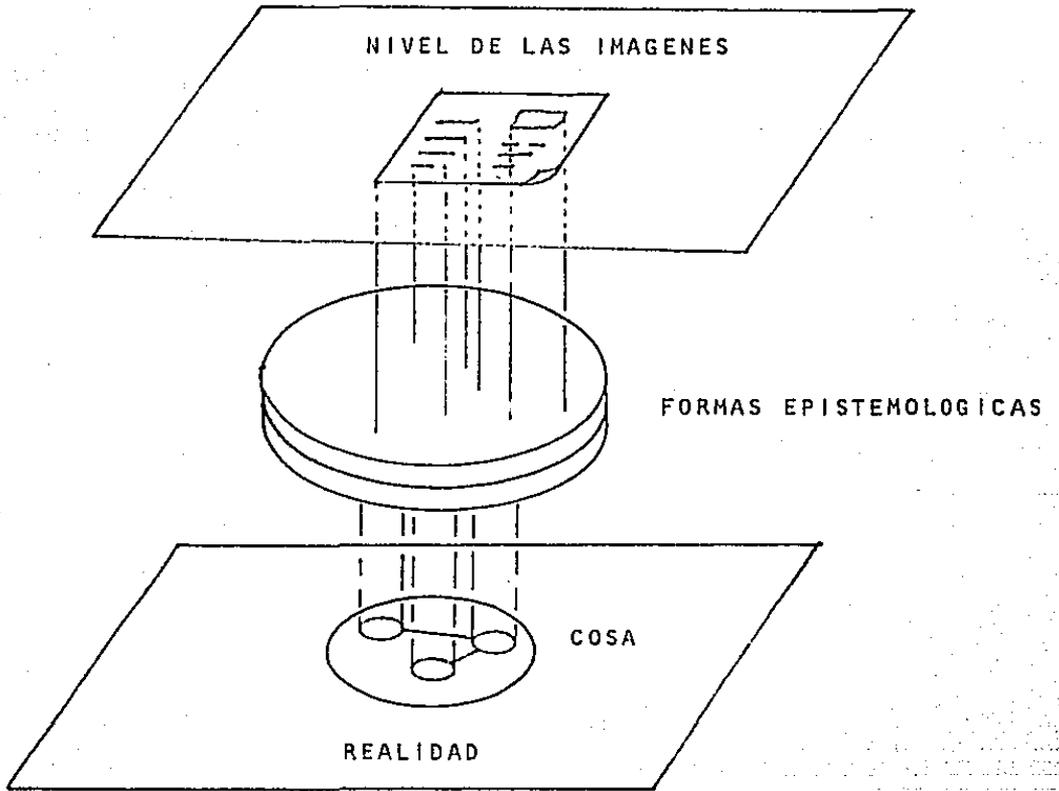


FIG 2.1-1 ESQUEMA DE LA FASE DE OBSERVACION

POSTULADO 2.4 Una condición necesaria, para que se produzca el conocimiento, es la existencia de los elementos de raciocinio.

Por otro lado, sin tratar de hacer un análisis exhaustivo de los antecedentes, es importante mencionar otros conceptos y términos empleados en la literatura que se acercan al concepto de ER.

En el famoso trabajo de Kuhn*, el concepto de paradigma se emplea, al menos en dos sentidos de interés para este estudio; por un lado, el paradigma se usa en sentido de un patrón (lentes) que determina tanto la visión de la realidad, como la estructura de razonamiento y, por el otro, se refiere al paradigma como un producto del proceso de obtención del conocimiento.

La primera de las interpretaciones de Kuhn coincide, en cierta forma, con el concepto del orden natural, introducido y empleado por Toulmin**, que considera la idea de este orden como normas de racionalidad e inteligibilidad que ofrecen esquemas fundamentales de expectativa: "vemos el mundo a través de ellas, dan significado a hechos e incluso determinan cuales son los hechos para nosotros".

* T.S. Kuhn, La Estructura de las Revoluciones Científicas, Fondo de Cultura Económica, México, 1971a.

** S. Toulmin, Ideals of Natural Order, Philosophical Problems of Natural Science, Dudley Shapere (ed.), The Macmillan Co., 1971, pp 110-123.

Bogdanov* enfatiza el papel de *formas organizativas*, cuya imposición por el hombre permite la ordenación y clasificación de los datos empíricos y, consecuentemente, mejor entendimiento de la actividad humana.

Margenau** está llamando *constructo* al ente representante de una clase de cosas de realidad, que es responsable por su campo empírico, como un producto intermedio del proceso de obtención de conocimientos, acercándose en este sentido, al tercer tipo de uso de paradigma por Kuhn.

A su vez Maruyama*** define, principalmente, el concepto de paradigma como el medio que determina una estructura de razonamiento, la cual varía de disciplina a disciplina, de profesión a profesión, de cultura a cultura y, algunas veces, de individuo a individuo; sin embargo, también, lo usa en el sentido de constructos que se emplean como elementos de "lentes" para observar las cosas, en el sentido introducido anteriormente en este trabajo.

* A. Bogdanov, *Essays in Tektology*, Intersystems Publications, 1980, USA.

** H. Margenau, *The Nature of Physical Reality: A philosophy of modern physics*, Mc Graw Hill Book Co., 1950.

*** M. Maruyama, *Paradigms and Communication, Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 6, 1974, pp 3-32.

De este breve análisis se concluye la necesidad de introducir un término neutral para eliminar cualquier confusión existente; es así que, en este trabajo, se optó por introducir el término *formas epistemológicas (FE)**.

DEFINICION 2.4 Se llama forma epistemológica al medio principal del proceso cognoscitivo, cuyo papel en la primera fase de observación, consiste en distinguir la cosa de interés** e identificar sus características relevantes para formar imágenes.

El observador, al distinguir en la realidad las cosas que son de su interés, está marcando los límites de una cierta porción de ella, que sigue siendo una cosa, según la definición 2.1, y se convierte, además, en el objeto inicial de la primera fase del proceso cognoscitivo. Este objeto se llama, generalmente, el *objeto de estudio* y, en este caso, su observación y medición***, produce su imagen en el campo empírico.

* Se empleó el término usado en O. Gelman, N.B. Lavrenchuk, *Specifics of Analysis of Scientific Theories within the Framework of the General System Theory*, Philosophical questions of logical analysis of Scientific Knowledge, Armenian Academy of Sciences Publishing Houses, Yerevan, 1974. issue 3, pp 137-149; sin embargo, en el transcurso de este trabajo se emplea, indiscriminadamente, el término paradigma en el estricto sentido de la Def. 2.4.

** También es conocido en la literatura, como el objeto focal.

*** Como ya se mencionó anteriormente, la medición constituye una forma avanzada de observación, cuyo análisis sale de los fines de este trabajo, una exposición más amplia se da en W. Churchman, R. Ackoff, *Methods of Inquiry*, Educational Publishers, 1950.

A este nivel de desarrollo ya, es posible revelar que, para realizar el análisis de esta etapa, se ha utilizado el para dig ma que consiste en observar esta actividad cognoscitiva como un proceso que parte de un elemento inicial, el cual se tranforma a través de ciertos medios o herramientas, obteniendo así un resultado o producto*. Una visión más generalizada permite, también, ver que esta etapa constituye una de las muchas fases concatenadas del proceso global, en tal forma que el producto de la anterior constituye el elemento inicial de la posterior**.

En el caso de esta primera fase, se parte del objeto de estu dio como una cosa de la realidad, los medios corresponden a las FE conjuntamente con los EP y el producto así obtenido es la imágen (fig 2.1-1), que se constituirá en el elemento inicial u objeto de estudio en la siguiente fase, analizada en el próximo subcapítulo.

* El proceso es descrito en G.P. Schedrovitzky, Methodological Problems of System Research, General Systems Yearbook, Vol. XI, 1966, pp. 27-53, su formalización fue elaborada en O. Gelman, N.V. Lavrenchuk. To the question of building a theory of cognocitive activity, All Union Institute of Scientific Information, No. 5655-73, 1972, pp. 16.

** Esta conceptualización del proceso global se basa sobre el paradigma que emplea el método de construcción por descomposición, descrito en el capítulo 3, y se plantea posteriormente después del análisis de cada una de las fases que lo componen.

2.2 ETAPA DE CONSTRUCCION

Como ha sido indicado, la segunda fase del proceso cognoscitivo inicia en donde termina la primera. El objetivo de esta etapa, consiste en elaborar un ente que se haga responsable por los datos, los cuales constituyen la imágen obtenida en la etapa anterior. Es así que se trata de reconstruir conceptualmente la cosa u objeto de estudio inicial de la etapa anterior, en un nuevo ente que la represente*, elaborando algo que frecuentemente, no existe, por lo que, posee todas las cualidades de una invención**.

Tomando en cuenta que, de acuerdo con el paradigma revelado en el subcapítulo anterior, el elemento inicial del proceso cognoscitivo en esta fase, esto es, el objeto de estudio de la etapa de construcción es la imagen en el campo empírico, surge la siguiente:

DEFINICION 2.5 Se llama constructo al ente responsable por el comportamiento empírico, registrado en la imagen, de una clase de cosas de la realidad.

* Margenau le llama "una cosificación de los datos" en H. Margenau, Op. Cit., pág. 64.

** Ibid, pág. 73-75.

Es así que a través del constructo se busca la representación de la cosa, la cual surge como una interpretación de la imagen*.

Se considera importante mencionar que el concepto de constructo no ha sido muy elaborado en la literatura; de acuerdo con el objetivo del trabajo, como ha sido mencionado en la introducción, fue necesario indagar sobre algunas de sus características, con el fin de preparar los medios necesarios para concebir el sistema como un constructo.

Para iniciar este análisis es importante especificar, al igual que fueron distinguidos los observadores en la primera etapa, a una subclase particular de éstos, teniéndose, así la siguiente:

DEFINICION 2.6 Se llama *indagador*** al observador que elabora constructos.

Esta actividad que realiza el indagador durante la formación de constructos, se reduce en algunas ocasiones a organizar,

* Es por esto que, frecuentemente, se usa en la literatura indiscriminadamente el término *construcción interpretativa*.

** Este término es usado en el sentido estricto de su definición, a pesar de que para algún lector puede tener otro significado. Sin embargo, se aceptó correr ese riesgo por considerar indispensable su diferenciación con el de observador.

integrar o abstraer los datos del campo empírico, lo que sucede en el caso de la formación de los constructos: "árbol", "perro", "burro", etc., los cuales reúnen una serie de calidades integrativas y explicativas, que asignan a cada cosa su categoría genética* correspondiente. Es así que el constructo "árbol"*** tendrá que incluir las calidades de ductibilidad, de conducción eléctrica, o de movimiento de sus ramas, por mencionar algunas, con el fin de darle la representatividad adecuada de todos los árboles.

Por otro lado, en ciertas ocasiones la actividad del indagador, reducida a organizar o abstraer de los datos, no es suficiente para explicar lo fenoménico de la cosa y es necesario postular algo ante las evidencias percibidas en su imagen***.

Para esto se lleva a cabo todo un proceso de idealización y diseño, basado en reflexión, creatividad e inventiva, lo que ocurrió por ejemplo, en la elaboración del constructo "electrón"****.

* Se usa el término categoría genética por referirse al origen del constructo en la experiencia.

** Este ejemplo lo menciona Margenau; para mayor detalle ver H. Margenau, Op. Cit. pág. 62-64.

*** Al respecto K. Kosik escribe "No es posible captar de inmediato la estructura de la cosa o la cosa misma mediante la contemplación o la mera reflexión; para ello es preciso una determinada actividad que abra el acceso a la "cosa misma". K. Kosik, Dialéctica de lo concreto, Ed. Grijalbo, México, 1967, pág. 40-41.

**** Ibid, pág. 48.

Una de las cualidades del electrón consiste en la enorme can tidad de revoluciones a que gira, siendo alrededor de 10^{16} por segundo, según la teoría clásica de Bohr.* Las mediciones como tales no pueden conformar esa cifra, debido a la imposi**bi** lidad de observarlo, puesto que para observar un objeto, en este caso el electrón, tendría que reflejar o emitir luz, y la luz necesita tiempo para ser reflejada o emitida. El periodo de nacimiento de un rayo de luz es aproximadamente 10^{-10} segundos*, o sea que un rayo de luz tarda ese tiempo en emerger de su fuente. Durante este tiempo el electrón del átomo de Bohr habría descrito un millón de revoluciones y, lo más que la luz podría decir, sería que la posición del electrón es una mancha circular.

Aquí puede plantearse la pregunta sobre la disposición de me**di** os obstétricos para acelerar el nacimiento de un rayo de luz; pero reducir el periodo de nacimiento de un rayo de luz, significa acortar la longitud de su tren de ondas, y se sabe por el análisis de Fourier que acortar el tren de ondas impli**ca** ensanchar el espectro hacia frecuencias más altas y más bajas. Dicho electrón, sin embargo, no posee energía suficiente para proporcionar las frecuencias tan elevadas. De modo que ver al electrón en movimiento, contradiría las leyes de la física clásica.

* Ver, por ejemplo, A. Beiser, Concepts of Modern Physics, McGraw Hill Book, Co., USA, 1973.

Es así que a diferencia de la elaboración de constructos de cosas observables directamente, en este caso, fue necesario inventar, esto es, imaginar, ciertas calidades de la cosa*.

Otro ejemplo adecuado de la necesidad de hacer invenciones en la elaboración de constructos, lo menciona Kuhn**, describiendo que la experiencia "sufrida" por Newton en el huerto de Woolsthorpe lo condujo a la necesidad de inventarle una masa a la cosa "manzana", lo que, a su vez, constituyó un gran paso que abrió la brecha para la construcción de las leyes del movimiento, de la gravitación universal, etc.

La utilización en esta etapa del proceso cognoscitivo cumple dos objetivos principales. Por un lado tiene que dar la representatividad a la cosa en este nivel de estudio, lo que sucede cuando, por ejemplo, en la conceptualización de los componentes de una cosa y sus interrelaciones permite plantear y resolver un cierto problema***. Además, este aspecto

* En términos generales, la misma necesidad de acudir a idealización ocurre, también, por ejemplo, durante el desarrollo de los constructos del primer grupo mencionado tales como "árbol", "perro", "burro", cuando se llega a buscar los elementos responsables por la explicación de algunos aspectos de su comportamiento.

** T.S. Kuhn, 1971a, Op. Cit.

*** Para un ejemplo de conceptualización de los componentes relevantes del proceso de cierre de una presa que ha permitido utilizar los constructos así obtenidos para representar el proceso real y resolver el problema de determinar su velocidad óptima, ver J. García, O. Gelman, J. Fuentes, Optimal Strategies for Dam Construction under the Flood Risk, Proceedings of the IASTED International Symposium Quality Control and Reliability held at the University of California, Los Angeles, California, USA, June, 1987.

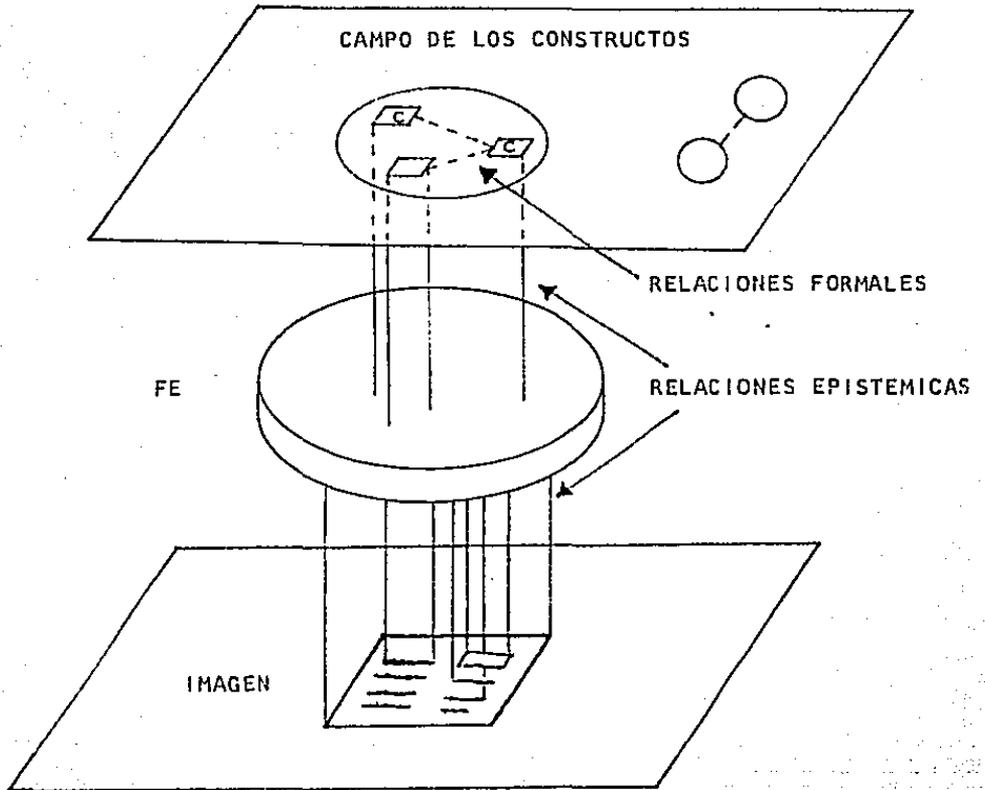


FIG 2.2-1 ESQUEMA DEL PROCESO DE CONSTRUCCION

del uso del constructo pone de manifiesto la relación existente entre éste y la imagen de la cosa; la cual se llama, de acuerdo con Margenau, *relación epistémica*, y como ejemplo pueden mencionarse las relaciones existentes entre peso de un cuerpo y la lectura en alguna escala, entre longitud de onda y la percepción de una línea espectrográfica, etc.

Por el otro, es necesario emplear el constructo para *explicar e interpretar* ciertos fenómenos aparentes de la cosa, por ejemplo, los constructos "campo magnético" o "sistema copernicano". Asimismo, dentro de estas explicaciones se utiliza en la mayoría de los casos varios constructos a la vez, que mantienen entre sí cierta relación, la que Margenau* llama *relación formal*; pueden citarse, como ejemplo, las relaciones entre fuerza y aceleración de una masa dada, entre curvatura del espacio y cantidad de materia existente en el universo, etc.**

Para ilustrar estos dos tipos de relaciones, en la figura 2.2-1 se distinguen las epistémicas con líneas sencillas, los constructos con la letra C y las formales con las punteadas.

* Ibid, pág. 84.

** La identificación de estas relaciones constituye el objetivo de otra fase del proceso cognoscitivo, la de modelación, que se analiza en el siguiente subcapítulo.

Además, en la misma figura pueden verse los casos especiales de constructos interrelacionados formalmente pero sin ninguna relación epistémica, esto ocurrió temporalmente, con la geometría no-euclidiana en el siglo XIX y con la teoría de los cuantos en las dos últimas décadas.

También se destacan dos papeles principales del constructo en el proceso cognoscitivo:

- *papel epistemológico*, en cuanto a su importancia como medio de obtención de conocimiento crucial a las FE, transformando las viejas o produciendo las nuevas*.
- *papel ontológico*, que busca dar un status especial al constructo, declarando que cierta estructura de las relaciones formales de los constructos corresponde a la estructura de la cosa, o aun más, que el constructo existe en la realidad**.

* Puede mencionarse, como ejemplo, la transformación completa de las FE en relación a la visión cosmológica, cuando Copérnico introdujo su constructo con el sol en el centro.

** Naturalmente, este papel no se cumple automáticamente por cualquier constructo, ya que algunos como "flogisto", "éter" o "constelación" no tienen existencia en el mundo de las cosas. Una crítica fuerte al intento de adecuar las relaciones formales en un nivel, con las relaciones entre cosas en el otro, se da en G.P. Schedrovitzky, Concerning the analysis of initial principles and conceptions of formal logic, General Systems, Vol. XIII, 1968, pp 21-33.

Nuevamente, es importante notar que también, al igual que en la fase anterior, el proceso de construcción no es imparcial con respecto a la cosa, sino que la acción de las FE del indagador es determinante en las calidades del producto.

Kuhn* menciona, por ejemplo, que Priestley y Lavoisier vieron ambos oxígeno, pero ellos interpretaron sus observaciones de manera diferente**; Aristóteles y Galileo vieron también ambos el péndulo, pero ellos difirieron en sus concepciones***.

En esta forma, la definición 2.4 puede ser enriquecida en

DEFINICION 2.7 Se llama FE a la que cumple la de finición 2.4 y, además, su papel en la etapa de construcción consiste en apoyar la idealización de las imágenes en el proceso de elaboración de un constructo.

* T.S. Kuhn, 1971b, Op. Cit. pág. 86

** Priestley identificó el gas liberado por óxido rojo de mercurio calentado, como aire común con una cantidad menor, que la usual de flogisto; mientras, que Lavoisier señaló que este gas, obtenido de la misma manera que Priestley, se formaba cuando un principio de acidez atómico se unía con calórico (la materia del calor), y era "el aire mismo, entero, sin alteración, excepto que salía más puro, más respirable" en T.S. Kuhn, 1971a, Op. Cit. pág. 94-95.

*** Cuando Aristóteles y Galileo miraron una piedra colgando de un hilo y oscilando, el primero vió una caída forzada y el segundo un péndulo, véase Galileo Galilei, Dialogues Concerning Two New Sciences, trad. H. Crew y A. de Salvio, Evanston, III, Chicago, 1946, pág. 91-94.

Finalmente, es importante notar, las diferencias existentes entre cosas y constructos*.

- Primero, la cosa como tal existe independientemente del conocimiento, mientras que el constructo es formulado por el conocimiento mismo.
- Segundo, las leyes que rigen a un constructo concreto no tienen porque coincidir con las de la cosa y, por tanto, pueden diferir de éstas.
- Tercero, la correspondencia existente entre cosa y constructo no es uno-uno en el sentido, de que existen varios constructos de una misma cosa (fig 2.2-2); por ejemplo, existen, cuando menos, dos diferentes constructos de la cosa "luz", uno que la concibe en forma de corpúsculos que viajan a través del espacio y la otra en forma de ondas electromagnéticas que se propagan en el éter.

Es así que el constructo es obtenido como un producto de la actividad del indagador sobre la imagen, utilizando como medio

* Se recomienda, para mayor detalle ver G.P. Schedrovitzky, 1966, Op. Cit. pág. 31-32, sin embargo, es importante tomar en cuenta la diferencia en la terminología: lo que Schedrovitzky llama cosa conocida y objeto, aquí se denominó constructo y cosa, respectivamente.



FIG 2.2-2 EJEMPLO DE ELABORACION DE DOS CONSTRUCTOS DIFERENTES

sus FE. Este producto puede ser fijado en símbolos* y, cuando su elaboración logra trascendencia, puede subir a otros niveles del proceso cognoscitivo, e iniciar su propia existencia independientemente de la cosa de la cual se ha derivado.

2.3 ETAPA DE MODELACION

Las etapas descritas del proceso cognoscitivo buscan conseguir información sobre la cosa, describirla y explicar su comportamiento, así como pronosticar acontecimientos futuros y, finalmente, controlarla.

Sin embargo, la consecución de estos objetivos a través de las etapas de observación y construcción encuentra ciertas dificultades, debido a la compleja naturaleza de algunas cosas, así como por las consecuencias irreversibles y la incertidumbre que produce el proceso de observación en sistemas biológicos, sociales y políticos**; además de problemas

* Schedrovitzky menciona como ejemplo a dos grupos de carneros que cuando, por un procedimiento de comparación, se distingue la cantidad de ellos, en cada grupo y, entonces, su constructo es expresado por medio de símbolos numéricos, en G.P. Schedrovitzky, 1966, Op. Cit., pág. 33.

** Es bien conocido el principio de incertidumbre de Heisenberg, generalizado por N. Bohr en su libro, Atomic Physics and human knowledge, New York: J. Wiley & Sons, 1958. donde establece que "El acto de conocer produce un importante efecto en lo conocido y en el que conoce". Además, V. Lefebre en The structure of Awareness, Sage Publ., London, 1977, considera el efecto irreversible que se produce en las cosas que tienen la misma complejidad que el observador durante su estudio.

tecnológicos, económicos y, en términos generales, humanitarios que obstaculizan, frecuentemente, la observación y experimentación directa con la cosa.

Por esta razón, en la práctica tradicional de investigación científica, se usa la construcción y estudio de modelos, como es el caso de la investigación del comportamiento de un avión a través de la experimentación con su modelo físico a escala en un tubo aerodinámico, o bien, del análisis del comportamiento de una especie biológica por medio de la elaboración de un modelo matemático, en forma de un programa de computadora, y su simulación consecuente. En todos los casos, unos u otros objetos sustituyen cosas en el proceso de investigación, con el fin de obtener conocimiento relevante.

De esta forma, se define esta tercera etapa del proceso, como la dedicada a la elaboración y el uso de los modelos, en donde el objeto de estudio lo conforman la cosa misma y los productos de las dos fases anteriores, esto es, imágenes y constructos; los medios continúan siendo las FE que ya han sido enriquecidas por los nuevos constructos formados y el producto que se busca obtener es la información sobre la cosa a través del *modelo* como producto intermedio.

DEFINICION 2.8 Se llama modelo al objeto que reemplaza a la cosa misma, sus imágenes y constructos surgidos en el consecuente proceso de investigación*.

Esta sustitución que constituye el objetivo del proceso de modelado, se realiza por varias actividades que van desde simples reducciones o simplificaciones pasando a través de abstracciones y llegando hasta las más complejas que involucran idealización y diseño.

Por ejemplo, cuando se estudia la cosa formada por un cuerpo sujeto a un resorte y al cual se le aplica un golpe, (fig 2.3-1), puede ser conceptualizada como un constructo que se basa en el paradigma Newtoniano y que involucra masa, fuerza, desplazamiento, constante del resorte, temperatura del medio, fricción con el medio y toda una serie de calidades de la cosa. Sin embargo, si el objetivo del estudio se enfoca a conocer aspectos de movimiento del cuerpo para diferentes tipos de golpes, pueden eliminarse de la consideración ciertas calidades como temperatura del medio**, forma de la

* Entre las diferentes definiciones y conceptualizaciones de modelo que existen en la literatura, se usa la que corresponde a este análisis del proceso cognoscitivo y que inicialmente fue planteada en V. Chavchanidze, O. Gelman, Modelado en la Ciencia y la Tecnología, Znanie Publ., Moscú, 1966, pp. 32 (en ruso).

** Se sabe que la longitud del resorte depende de la temperatura, pero también que, en un cierto rango de ésta, el tamaño de la variación de la longitud es despreciable.

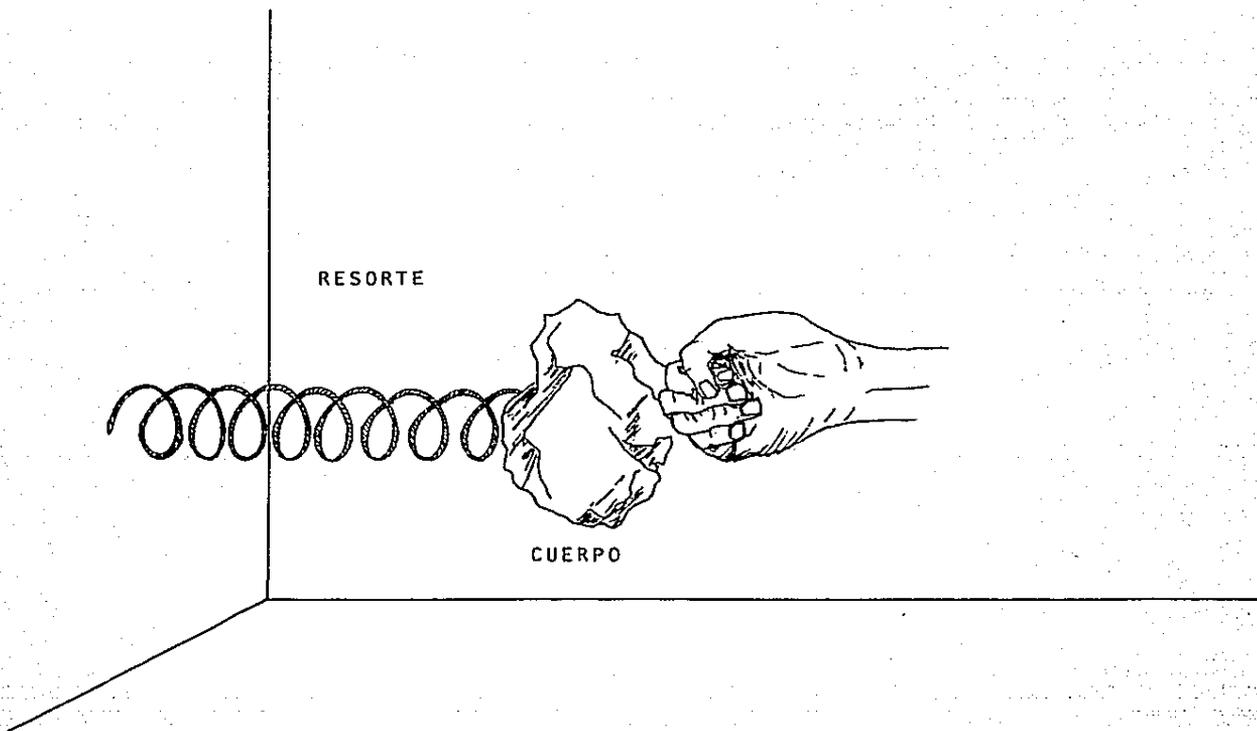


FIG 2.3-1 ILUSTRACION DE UN CUERPO SUJETO A UN RESORTE Y EXPUESTO A UN GOLPE

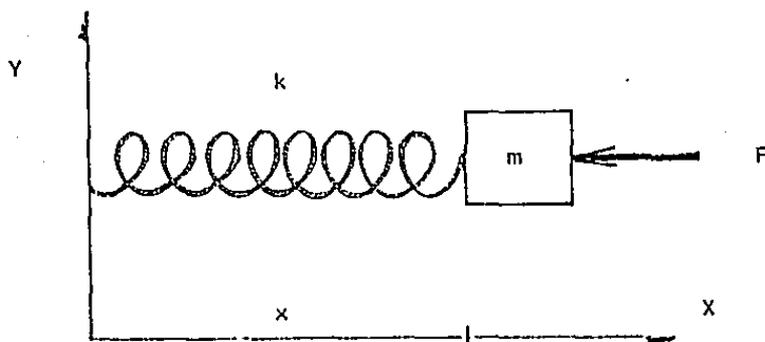
masa, color del resorte, etc; detectando como sus elementos fundamentales* la magnitud de la masa (m), de la fuerza (F) de la fricción del medio (γ) y el desplazamiento (x) con respecto a un sistema inercial de referencia (fig 2.3-2), los cuales se encuentran relacionados, según las leyes de Newton y Hooke** por la ecuación:

$$m \ddot{x} + \gamma \dot{x} + k x = F \quad (2.1)$$

La ecuación (2.1) por si sola, todavía no es un modelo, para ello es necesario que lleve a cabo su función básica consistente en sustituir a la cosa para fines específicos y esto se logra cuando dicha relación se concretiza o particulariza en la cosa, lo que se conoce como *calibración* del modelo, es decir,

DEFINICION 2.9 Se llama *calibración* a la actividad que consiste en adecuar el modelo a la cosa, esto es, que los datos obtenidos en la imagen de la cosa coincidan con los producidos por el modelo.

* Algunos autores utilizan para estos elementos el término, *categoría*, introducido por Hegel, ver por ejemplo K. Kosik, Op. Cit.
 ** Para un análisis detallado del origen de esta fórmula ver, por ejemplo, A. Sommerfeld, *Mechanics*, Academic Press, New York, 1975.



$$m \ddot{x} + \gamma \dot{x} + kx = F$$

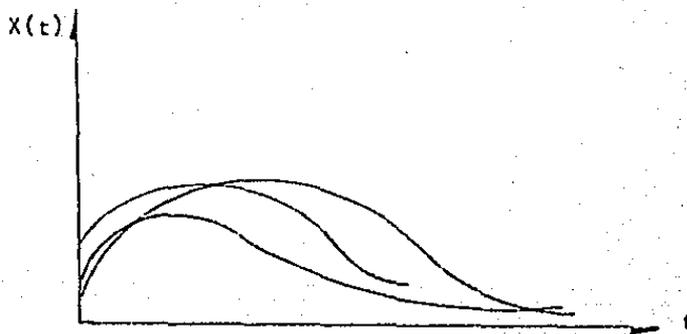


FIG 2.3-2 CONSTRUCCION Y MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DEL CUERPO DE LA FIGURA ANTERIOR.

Por ejemplo, la calibración en la ecuación 2.1 consiste de especificar los valores de m , γ , k y F .

En esta forma, la calibración hace concordar los datos del modelo con las imágenes conocidas. Esto garantiza, en cierta medida, la función que el modelo debe desempeñar después de su calibración, la cual consiste en servir para la obtención de más imágenes sobre la cosa ante diferentes condiciones, permitiendo así conocer el comportamiento de ella en diversas situaciones y, proporcionando nueva información acerca de la misma*.

Las imágenes proporcionadas por el estudio del modelo constituyen el producto final de esta tercera etapa del proceso, sin embargo, a pesar de que estos nuevos datos son resultado directo de elementos teóricos, pueden pasar a formar parte del campo empírico de la cosa, con el objetivo de enriquecer el proceso cognoscitivo. La forma en que se relacionan y organizan los productos obtenidos en las diferentes etapas se verá en el siguiente subcapítulo.

* La concretización y descripción de los procedimientos pertinentes se encuentra en B. Ziegler, *Theory of Modelling and Simulation* Wiley & Sons, New York, 1976; una clasificación que diferencia los modelos fenomenológicos de los estructurales se encuentra en O. Gelman, S. Macías, *Aspectos metodológicos de la elaboración y uso de modelos en el pronóstico de fenómenos destructivos*, Boletín IMPJS, año XII, número 68, México, 1982.

2.4 LA ORGANIZACION DEL PROCESO COGNOSCITIVO

Del análisis anterior de algunas fases del *proceso cognoscitivo* ha surgido con toda evidencia la necesidad de ir profundizando, tanto en la identificación de otras fases importantes, como en el conocimiento de sus interrelaciones, cuyo conjunto puede permitir llegar a conceptualizar el proceso cognoscitivo (PC) en su totalidad.

Sin embargo, considerando que el objetivo de este capítulo se restringe sólo a preparar las bases necesarias para el estudio del concepto de sistema, se considera suficiente en el resto de éste, analizar las relaciones de las fases identificadas, tratando de llegar a la visión del proceso cognoscitivo en su integridad.

De acuerdo con la conceptualización realizada de las fases del proceso cognoscitivo, cualquier proceso se define tanto por su objetivo, como por su estructura.

En este sentido el PC en su totalidad tiene la misma estructura, esto es, consta del objeto de estudio, medios y producto, como cualquiera de las fases particulares. Naturalmente será el objetivo el que lo distinga entre las otras actividades humanas*, por lo que es conveniente plantear el siguiente

* Esto se basa fuertemente en el postulado 3 en O. Gelman, A la Pregunta sobre Construcción de la Teoría de Actividad Científica, Instituto Nacional de Información Científica, No. 5465-73, 1972, pp. 16. Moscú (en ruso)

POSTULADO 2.6 El PC tiene cierto propósito que lo distingue en el conjunto de diversas actividades humanas.

En términos generales, reservando la posibilidad de realizar un estudio más detallado, es suficiente mencionar una postura ampliamente compartida por la comunidad científica y definida por Rescher*, que consiste en ver este propósito como la búsqueda de la verdad. Una concretización e interpretación de este propósito, según O. Gelman**, se plantea en forma de objetivos de descripción, de explicación, del pronóstico y de control de las cosas, tanto en el sentido de su estructura, como en el de su comportamiento.

Por otro lado, para conceptualizar el PC en su totalidad es necesario analizar su estructura, en la cual se han identificado hasta ahora las fases de observación, construcción y modelado, así como algunas relaciones existentes entre ellas.

En el subcapítulo 2.2 se determinaron las relaciones epistémicas (fig 2.2-1) para la fase de construcción. Una generalización adecuada permite extenderlas para describir los enlaces entre los objetos de estudio, los medios y los productos

* N. Rescher. Sistematización cognoscitiva. Siglo Veintiuno, editores 1981, México.

** O. Gelman, N. Laurenchuk, 1974, Op. Cit.

de una fase con los de otras. Esto hace posible distinguir dos tipos particulares de estos enlaces.

DEFINICION 2.10 Se llama relación epistémica de tipo α cuando algún producto de una fase se convierte en el objeto de estudio de la siguiente (fig 2.4-1).

Esto sucede, por ejemplo, cuando las imágenes como producto de la observación pasan a ser objeto de estudio en la etapa de construcción y, análogamente cuando los constructos producto de la etapa de construcción se constituyen en el objeto de estudio en el modelado.

DEFINICION 2.11 Se denomina relación epistémica de tipo β cuando el producto de una etapa se constituye en el medio de investigación de otras fases (fig 2.4-2).

Este tipo de enlace puede verse, por ejemplo, cuando los productos de una teoría son usados como medio tanto para formar imágenes como para elaborar constructos de cosas; concretamente, puede mencionarse el ejemplo citado en el subcapítulo 2.2, en donde el paradigma de Newton consistente en verle masa a las cosas le proporcionó los medios para elaborar el constructo de los cuerpos celestes sometidos a la ley de

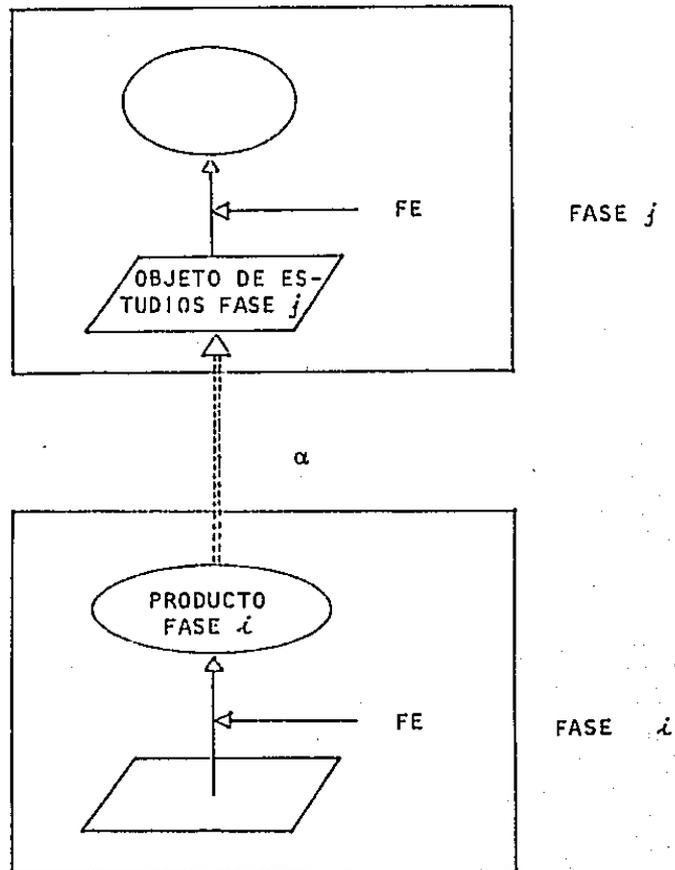


FIG 2.4-1 EJEMPLO DEL ENLACE EPISTÉMICO TIPO α

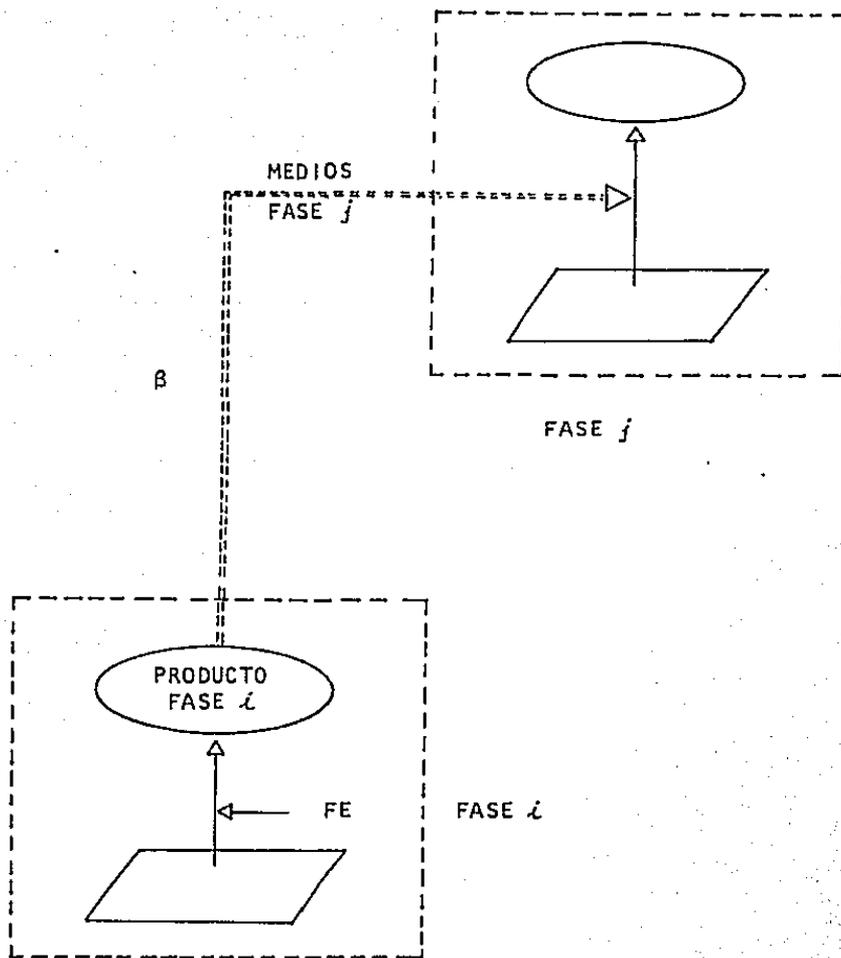


FIG 2.4-2 EJEMPLO DEL ENLACE EPISTEMICO TIPO B

gravitación universal; pero gracias a la teoría de "flujiones"* fueron posible determinados procedimientos analíticos que implicaron construcciones adicionales, tales como la distancia entre la tierra y la luna, la revolución de la luna, etc.

Por otro lado, puede verse que las relaciones epistémicas tanto de tipo α como de tipo β tienen la capacidad de regresar a etapas anteriores, estableciendo lo que se conoce como una *retroalimentación*, es decir, los productos de las fases adelantadas regresan a fases anteriores a servir, tanto de medio, como de objeto de estudio, aunque obviamente este regreso no es en el tiempo, sino en el nivel del PC.

Estas retroalimentaciones dan al PC una forma cíclica que junto con las relaciones anteriores da al proceso una estructura muy compleja (como ejemplo se muestra la figura 2.4-3), cuyo análisis sale más allá de verlo como un proceso simple y para lo cual se hace necesario el uso de una paradigma sistémico, lo que pone de manifiesto, nuevamente, la necesidad de estudiar el concepto de sistema y, en cierta forma, explica el hecho de terminar este capítulo sin profundizar, en el PC puesto que además de que sale de los objetivos de este estudio, para conseguirlo sería indispensable analizarlo como sistema.

* Es la denominación dada por Newton al cálculo diferencial

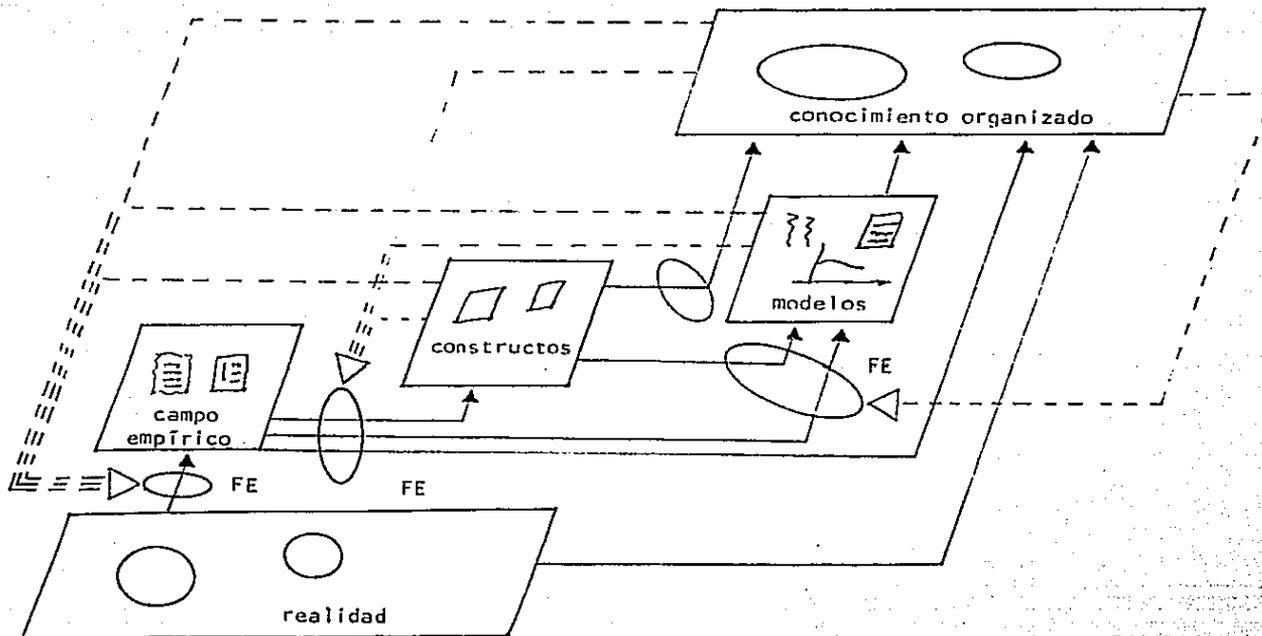


FIG 2.4-3 EJEMPLO DE LA VISUALIZACION DE LAS FASES EN UN PROCESO INTEGRAL

3. EL CONCEPTO DE SISTEMA

El uso del término *sistema* ha crecido enormemente en las últimas décadas en diferentes facetas de la actividad humana y se ha convertido, en cierta forma, en la palabra de moda tanto en el vocabulario científico como en el cotidiano.

En griego antiguo, *systema* (de σύστημα, "mantenerse juntos") aludía originalmente a algo que se mantiene íntegro. Los estoicos lo aplicaron específicamente al mundo físico (*systema mundi*) para referirse a la composición del cosmos que abarca el cielo y la tierra.*

* Ver. N. Rescher. Op. Cit. Pag. 17.

El mismo Kant* entendía la idea de sistema como opuesto de caos, mezcla, montón, confusión, desorden, etc. y la aplicaba por igual, tanto a objetos intelectuales (considerados como cuerpos de conocimiento orgánicamente integrados), como a objetos materiales (por ejemplo, organismos). También Engels**, hace más de un siglo, menciona que "Toda la naturaleza accesible a nosotros forma un sistema, un conjunto total de cuerpos, en donde ellos actúan unos sobre otros".

Sin embargo, todos estos usos, tanto del término como del concepto sistema, se llevaron a cabo de una manera implícita y no fue sino hasta los trabajos de L. Bertalanfy en 1936 y de A. Angyal en 1941, de los cuales surgió, explícitamente, el concepto de sistema.

Es importante tomar en cuenta que esta corriente nace como una respuesta a la demanda por la unificación de la ciencia, que busca la creación de un lenguaje general y de un marco conceptual unificado, basándose en la creencia de la universalidad y generalidad del mundo y sus leyes***. Además, se

* En especial en el libro II, parte 3: Arquitectónica de la razón pura, en E. Kant, Op. Cit.

** F. Engels, Op. Cit., pág. 48.

*** O. Gelman, Metodología de la Ciencia e Ingeniería de Sistemas: Algunos problemas, resultados y perspectivas, Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yuc, Oct. 1978.

ha buscado proporcionar una visión generalizada del mundo, como un intento por llevar la investigación científica, considerada como la más eficiente, a diversas actividades humanas, en donde es necesario obtener conocimiento.

En términos de este trabajo y del enfoque elaborado en el capítulo anterior, esta nueva visión constituye el *paradigma sistémico* que, formando parte de las formas epistemológicas (FE) de un observador, indagador o investigador, permite obtener imágenes, constructos o modelos de cosas, y a final de cuentas conocimiento sobre ellas.

En este sentido, de acuerdo con los lineamientos establecidos, es indispensable situar y analizar al paradigma de sistemas como medio en las diferentes fases del proceso cognoscitivo (PC), por lo que este capítulo está dedicado a revelar la formación de estos paradigmas y plantear las construcciones que de ellos se derivan.

3.1 PARADIGMA SISTEMICO DEL PRIMER TIPO

Cuando un observador distingue una cosa en la realidad, dicha cosa goza del privilegio de ser una totalidad para el observador, en esta situación particular, y aún más, su existencia para el observador se debe, tanto a la delimitación que la

misma naturaleza de la cosa le impone a ésta como a las FE del observador que, como ya ha sido analizado, influyen crucialmente en la selección de los límites de la cosa como totalidad.

Se distinguen dos formas fundamentales de la delimitación o visualización de la cosa. La primera se basa en la detección de cierto comportamiento de la cosa como totalidad en sus relaciones con algunas otras cosas de su entorno, o en la necesidad de la existencia de la cosa, para que las otras cosas cumplan su papel o función. La otra emplea la visualización de la cosa como un conjunto de partes.

Este subcapítulo se dedica a la definición del paradigma sistémico del primer tipo, basándose en el análisis de la primera forma de visualización, mientras que la definición del paradigma sistémico del segundo tipo se realiza en el siguiente.

Según la primera visión, la cosa se ve como un todo integral, cuya existencia se debe a la presencia de un conjunto de cosas que de alguna u otra forma se encuentran relacionadas con ella como individuo, identificando entre estas relaciones, las del tipo *productor-producto* que, en un caso particular, se conocen como relación causa-efecto. Estas relaciones pueden definirse, siguiendo los criterios establecidos por E.A. Singer* a mediados de este siglo.

* E.A. Singer, Jr. Experience and Reflection, C. West Churchman (ed). University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1959, citado por R. Ackoff en Science in the Systems Age: Beyond IE, OR and MS, Operations Research Vol. 21, No. 3, 1973, pp 661-671.

DEFINICION 3.1 Se dice que A produce C (o que C es el producto de A), si A es necesario para C; mientras que A es la causa de C (C efecto de A), si A es condición necesaria y a la vez su ficiente para C. También se dice que A y B son los coproductores de C si ambos producen C; todos los coproductores de C, tomados conjuntamente, son su causa.

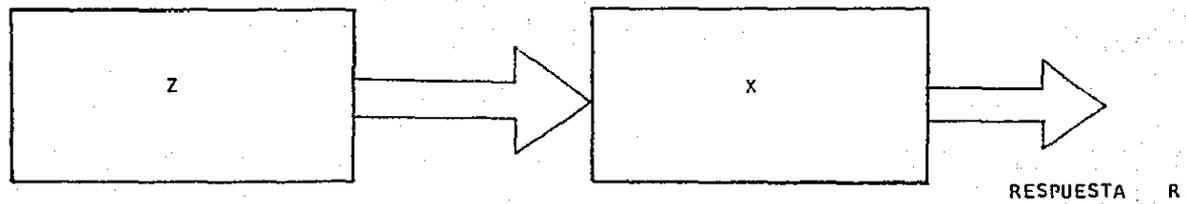
Esto hace posible definir el concepto de *respuesta*:

DEFINICION 3.2 Una cosa X responde a la cosa Z, si su comportamiento (respuesta) es coproducida tan to por Z como por X.

Puede notarse que una cosa X responde a otra cosa Z, cuando esa segunda cosa Z es necesaria para producir su comportamiento, aunque es la primera cosa X la que manifiesta su comportamiento (fig 3.1-1)*.

Con esta idea sobre la relación productor - producto y su interpretación en la definición de respuesta, pueden introducirse las siguientes:

* Es importante destacar que para la existencia de la respuesta es indispensable la presencia de al menos dos cosas miembros de la relación productor - producto.



$(Z, X) \longrightarrow R$

FIG 3.1-1 ILUSTRACION DE LA RESPUESTA DE UNA COSA

DEFINICION 3.3 Una *propiedad* P de una cosa es una potencialidad para producir una respuesta en otra o para responder a otra cosa.

DEFINICION 3.4 Al ejercicio que una cosa hace de una de sus potencialidades se le llama *acción*.

Es decir, una propiedad es algo substancial en una cosa, capaz de producir una respuesta en ella misma o en otra cosa, siendo la causa de la acción correspondiente.

Por ejemplo, un perro afectado por el virus de la rabia tiene la potencialidad de poder transmitirla a otros perros o personas mediante la acción de morder que produce, como respuesta, la rabia en ellos.

Es así que del mundo de las cosas se identificó a las cosas integrales, de éstas se seleccionó a las que son miembros de la relación productor-producto y además, para estas cosas, según las definiciones anteriores, se ve que se caracterizan por un conjunto de propiedades que son responsables por la producción de respuestas, lo que resulta en la siguiente:

DEFINICION 3.5 Una cosa sistema del tipo 1 (CS1)* es una cosa que posee una colección de propiedades que puede producir una respuesta, mientras que cualquier subconjunto de ellas no es suficiente, para producir esa misma respuesta.

Esta colección de propiedades puede consistir de un singlete y depende de la respuesta en consideración, esto es, depende del propósito que persigue el investigador.

Algunos autores como W. Sachs** emplean el concepto de CS1 bajo el nombre de individuo; lo que produce cierta confusión, debido a que, al no definirlos como una clase especial de cosas, se pierde la posibilidad de ubicarlos explícitamente en las distintas fases del proceso cognoscitivo.

Como ejemplo de la consideración de una cosa como CS1 puede citarse al que menciona Angyal***, sobre la diferencia entre las propiedades de una naranja completa y los de una desintegrada**** que resulta, cuando a la naranja se le ha quitado la cáscara y se le ha exprimido, teniendo separadamente: el jugo, el gabazo y la cáscara.

* Como ya ha sido señalado en anteriores notas, se optó por introducir términos nuevos para eliminar los prejuicios que el lector puede tener sobre algunos términos y que pueden causar confusión.

** W. Sachs, Man, Design, Machine, Ph D Thesis, Busch Center, Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, 1976.

*** A. Angyal, A Logic of Systems, in Emery, F.E. (ed), Systems Thinking Penquin Modern Management Readings, Middlesex, England, 1969.

**** Como se mencionó anteriormente, el análisis del otro paradigma donde la cosa se ve descompuesta, se da en el siguiente subcapítulo.

Esta última definición involucra la existencia de un conjunto de cosas que es externo al CS1 pero que es necesario para que éste tenga una propiedad*, así se tiene

DEFINICION 3.6 Al conjunto de cosas debido a las cuales un CS1 tiene al menos una propiedad, se le llama *entorno* de dicho objeto.

Es decir, el entorno de un CS1 está formado por las cosas que responden al CS1 y por aquéllas a las que responde el CS1; en esta forma, el entorno del perro mencionado anteriormente, considerando a la rabia como única propiedad, consiste de los animales y personas que se encuentran a su alcance, tanto sanos como enfermos de rabia.

PROPOSICION 3.1 Si X es un CS1 y Z es un miembro de su entorno, entonces Z tiene una propiedad**.

PRUEBA. Como Z está en el entorno de X , existe una propiedad en X tal que X responde a Z , de donde, por la definición de propiedad, se puede inferir que Z tiene una propiedad.

* Es importante notar las diferencias entre los dos casos polares: uno, cuando la propiedad de la cosa está inducida por sus relaciones con otras, como por ejemplo, el valor extrínseco de la plata definida por su papel en el mercado cambiario; el otro, se presenta cuando la propiedad de la cosa surge de su naturaleza interna, tales como la conductividad de la plata.

** Además, va a mostrarse en el siguiente subcapítulo, donde se desarrolla la visualización del conjunto de componentes, que el conjunto formado por un CS1 y su entorno también es CS1.

Es importante mencionar que en la definición del entorno se revela la condición de la existencia de una cosa más grande que contenga a la CS1, igual estaba implícita en su definición y se hizo en analogía con la definición axiomática de conjunto que fue establecida con el fin de eliminar la paradoja de Russell*.

Esta misma condición es criticada por Sadovsky**, en lo que él llama paradoja de jerarquía e indica que si la descripción de un sistema sólo es posible si se hace componente de un sistema mayor, el cual se describe como componente de otro mayor, etc., lo que llevaría a un conjunto universo. Sin embargo, esta paradoja queda resuelta en términos de este trabajo, cuando se define un CS1 referente a una propiedad, la cual depende del propósito del investigador, y en este sentido el entorno del CS1 está bien determinado.

Por otro lado, en el análisis de la relación productor-producto puede verse que su realización se lleva a efecto a través del tiempo, por lo que es indispensable postular:

* Esta paradoja consiste en que: Si el conjunto Universo U es el conjunto que contiene a todos los conjuntos, entonces se llega a que si $U \in U$ entonces $U \notin U$ y viceversa, por lo que se optó por llamar a algo como conjunto, cuando exista una clase que lo contenga, de donde U no es conjunto y el problema termina. Para mayor detalle ver. P.R. Halmos, Naive Set Theory. D Van Nostrand Com. Inc., Princeton, N.I, 1960.

** N. Sadovsky, Paradoxes of systems thinking,

POSTULADO 3.1 Todos los CS1 están inmersos en el tiempo*.

Este postulado refleja la misma idea del movimiento concebida por Engels: "Toda la naturaleza que nos es accesible es una totalidad de cuerpos interrelacionados, esto incluye el hecho de que reaccionan los unos sobre los otros a través del tiempo, y precisamente esa reacción mútua constituye el movimiento, que en este sentido es increable e indestructible"***; y también coincide con la concepción de Einstein**, cuando afirma que la descripción completa de un cuerpo debe referirse al tiempo y al espacio.

En este sentido las definiciones anteriores de propiedad, acción, productor, etc. son relativas al tiempo y, nuevamente, para continuar en el proceso de concretización de la relación productor-producto, surgida del interés del investigador se introducen las siguientes:

* Puede postularse también la inmersión de los CS1 en el espacio, lo que ocasionaría dejar fuera a los sistemas axiomáticos o teóricos, pero considerando que la generalidad de la definición es uno de los objetivos básicos de este trabajo fué preciso hacer la omisión. Por otro lado, vale la pena aclarar que estos sistemas axiomáticos están inmersos en el tiempo, debido a que el orden y los enunciados no pueden cambiarse y, en este sentido, la propiedad correspondiente del tiempo es el ordenamiento.

** F. Engels, Op. Cit. Pág. 63.

*** A. Einstein, The Evolution of Physics, Simon Schuster, Inc. New York, 1939.

DEFINICION 3.7 El estado de un CS1 es el conjunto de características determinantes de la colección de propiedades que posee la cosa en cada instante del tiempo.

DEFINICION 3.8 La entrada de un CS1 es el conjunto de todas las posibles acciones de su entorno.

DEFINICION 3.9 La salida de un CS1 es el conjunto de todas sus posibles respuestas.

Lo que permite, a su vez, concretizar la relación productor-producto en:

DEFINICION 3.10 Se llama relación entrada-salida a la relación productor - producto entre la CS1 y su entorno.

También es necesario tomar en cuenta que tanto la entrada como la salida implican que exista contacto con el entorno, por lo cual es indispensable establecer un mecanismo que lo haga posible, a través de la siguiente:

DEFINICION 3.11 Se llama canal al dispositivo que conduce las acciones del entorno al CS1 y las respuestas de éste a su entorno.

Es decir, el canal se encarga de transmitir, en un lapso de tiempo determinado*, la acción del entorno sobre el CS1, o la respuesta de este último al primero.

Esto completa la definición del paradigma del primer tipo, el cual permite determinar a la CS1 en la realidad y, posteriormente, continuar en las diversas fases del proceso cognoscitivo considerando como objeto de estudio inicial a la CS1. Es decir, el siguiente paso consiste de la formación de constructos de la CS1, basándose sobre este mismo paradigma, y buscando identificar los responsables por la relación entrada-salida, o bien, construyen el ente responsable por la colección de propiedades que definen a la CS1.

De esta forma se ha concluido la definición de la visualización de la cosa, según el paradigma del primer tipo, dejando la descripción de la otra para el siguiente subcapítulo

* Se habla de lapso de tiempo determinado por considerar el caso general, pues este lapso puede ser cero.

3.2 PARADIGMA SISTEMICO DEL SEGUNDO TIPO

La otra forma de concebir una cosa de la realidad es visualizarla como un conjunto de elementos que se encuentran asociados de cierta manera y los cuales han sido identificados individualmente mediante el uso del paradigma del primer tipo.

Esta idea sobre las cosas que algunos autores le llaman enfoque estructuralista*, está basada en los conceptos de conjunto y relación, por lo que es necesario establecer las siguientes:

DEFINICION 3.12 Un conjunto es una colección de entidades las cuales poseen todas las propiedades** necesarias que las califican como miembros del conjunto.

DEFINICION 3.13 Un *elemento* es una cosa que es identificada como un CS1.

DEFINICION 3.14 Si un componente de la salida del elemento A es un componente de la entrada de otro elemento B, se dice que el primero *está ligado o relacionado* con el segundo y se

* Por ejemplo, en A. Rapoport, *Modern System Theory, General System*, Vol. XV, 1970, pp. 15-25.

** En el sentido de la definición 3.3

denota $(A \leftrightarrow B)$.

Es importante tomar en cuenta que, la existencia de la liga entre dos elementos, no significa automáticamente la existencia de las relaciones entre todas las propiedades que determinan a cada uno de los elementos como CS1.

Como por ejemplo, en la figura 3.2-1 se muestra que el elemento X tiene como propiedades a P_1, \dots, P_n y el elemento X' a P'_1, \dots, P'_m y la propiedad P_i es la causa de la salida Z_i , la cual junto con la propiedad P'_j , produce una respuesta de X' , es decir, $X \leftrightarrow X'$, pero como puede observarse en la misma figura, puede suceder que otra propiedad P_k que produce como salida a Z_k , no produzca ninguna respuesta en X' .

Esta definición de liga entre dos elementos permite establecer el concepto de relación en un conjunto cualquiera, según el contexto de este trabajo.

DEFINICION 3.15 Una relación R en un conjunto X es un subconjunto de X en el cual no existe un elemento que no esté ligado a ningún otro o algún otro ligado con él*.

* Nótese que esta definición de relación es equivalente a la de relación binaria conectada

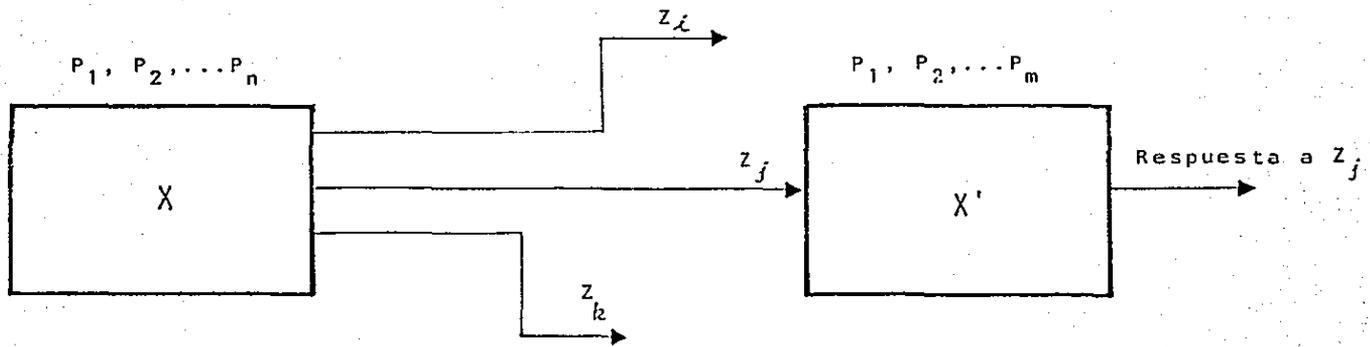


FIG 3.2.1 ILUSTRACION DE LA LIGA DEL ELEMENTO X CON EL X'

Es decir, R es una relación, si $x \in R$ implica que exista $z \in R$, tal que: $x \leftrightarrow z$ o $z \leftrightarrow x$.

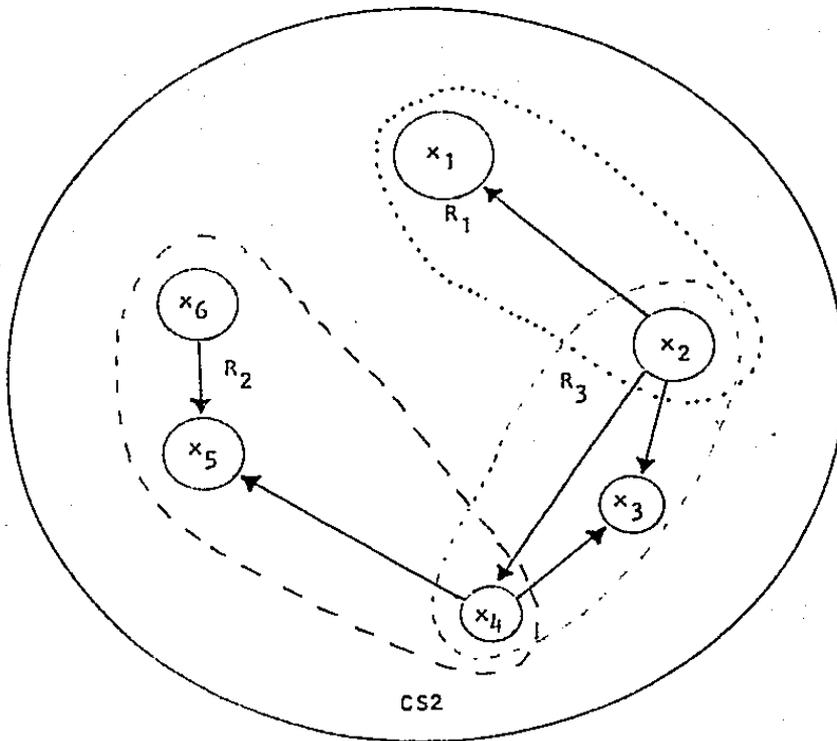
En este sentido, un conjunto X puede tener una variedad de relaciones teniéndose la siguiente:

DEFINICION 3.16 Una cosa sistema del segundo tipo (CS2) es un conjunto X de elementos con una colección no vacía de relaciones $\{R\}$ definidas sobre él.

Como ejemplos de CS2 pueden mencionarse a una casa, cuando es vista como el conjunto formado por las paredes, piso, techo, muebles, etc; una escuela vista como el conjunto de instalaciones, alumnos, maestros, etc; el cuerpo humano como el conjunto de células, tejidos, venas, arterias, órganos, etc.

De acuerdo con algunos autores* que condicionan a la definición 3.16, en el sentido de que la colección de relaciones $\{R\}$, además de ser no vacía, sea tal que para todo $x \in X$, exista una relación R en $\{R\}$ tal que $(x,z) \in R$ o $(z,x) \in R$ para algún $z \in R$, de esta forma no se permite a los CS2 tener elementos aislados, es decir, elementos que no están relacionados con cualquier otro elemento, ni tienen otro elemento relacionado con ellos (fig. 3.2-2), por lo que se introduce el siguiente:

* W. Sachs. Man, Design, Machine PhD Thesis, Busch Center, Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, 1976.



$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$$

$$\{R\} = \{R_1, R_2, R_3\}$$

FIG 3.2-2 EJEMPLO DE LA COLECCION DE RELACIONES EN UN CS2

POSTULADO 3.2 En un CS2 no existen elementos aislados, esto es, cualquier elemento está ligado con otro elemento, o algún otro con él.

De esta forma se concluye la definición de la visualización de la cosa mediante este paradigma del segundo tipo, el cual ha intentado mostrar que los elementos seleccionados se encuentran conectados, formando una estructura relacionada que en este trabajo se ha denominado CS2, y que al igual que los CS1, se convierte en el objeto de estudio en las siguientes fases del proceso cognoscitivo descrito en el capítulo 2. Sin embargo, cada una de las construcciones consideradas poseen ciertas deficiencias, debido a la parcialidad de los paradigmas empleados en su definición.

El siguiente subcapítulo se dedica a analizar estas deficiencias y a realizar una integración de los conceptos elaborados.

3.3 FUSION DE AMBOS PARADIGMAS

Puede observarse fácilmente que, cuando se utiliza con exclusividad cualquiera de los dos paradigmas revelados en los subcapítulos anteriores, la visión que se tiene de la cosa resulta incompleta.

Por ejemplo, si se ve a la cosa como CS1, las propiedades que le definen se identifican por la existencia de cosas en el entorno que permiten destacar esas propiedades, sin embargo, la cosa puede poseer algunas otras propiedades internas, que no han sido detectadas por la visualización CS1; además, se dificulta el análisis del comportamiento de la cosa, debido a que puede encontrarse en un continuo cambio interno, y así responder de diferente manera a mismas acciones en diversos momentos de tiempo.

Por otro lado, cuando se concibe a la cosa como CS2, no es posible detectar algunas de sus propiedades integrales, con respecto a otras cosas, es decir, las propiedades de sus elementos y sus ligas no determinan por sí mismos sus propiedades integrales*, lo que también impide la identificación de su entorno.

Como puede verse, estos paradigmas son parciales y complementarios, pues a cada uno le faltan las características del otro, es decir, la visualización CS1 carece de estructura interna que la posee el CS2, así como el CS2 carece de propiedades totales, que pertenece al CS1. Es por ello que surge la necesidad de pensar en un cosimiento o fusión de ambos paradigmas, con el fin de lograr una mejor visualización y, por tanto, mejor construcción de la cosa.

* En este sentido es correcta la bien conocida afirmación de que el todo es algo más que la suma de las partes.

Esta fusión puede realizarse a través de dos procedimientos, los cuales consisten en el uso recursivo de un paradigma para analizar el producto del otro y viceversa.

Por un lado, cuando se utiliza el paradigma del primer tipo, para analizar un CS2 en su totalidad, se busca encontrar una propiedad o una colección de propiedades integrales a través de las relaciones entre sus elementos, las cuales definirán al CS2 como un CS1.

Uno de los métodos utilizados para este propósito es el conocido como Método de Construcción por Composición*, el cual se basa en el estudio y clasificación de los elementos y sus ligas en el CS2, para llegar a propiedades totales que lo definan como CS1, obteniéndose así un producto superior al CS2.

La otra alternativa para conseguir la fusión es al inverso que en el anterior, esto es, visualizar un CS1 como CS2.

Este procedimiento consiste en descomponer el CS1, buscando elementos y relaciones que lo determinen como CS2.

* Algunos aspectos se encuentran en O. Gelman, G. Negroe, Papel de la Planeación en el proceso de conducción, Boletín IMPOS, año XI, No. 61, enero-febrero, marzo, 1981, pp 1-17.

Un ejemplo de este tipo de procedimiento, lo constituye el conocido como Método de Construcción por Descomposición*, el cual se basa en la descomposición funcional y consiste en desmembrar el CS1 en partes (llamadas subsistemas), cuyas funciones y propiedades aseguren las del sistema en su conjunto, mediante lo que Angyal** llama una organización adecuada.

Al igual que en la primera alternativa, el producto obtenido en este procedimiento es superior al CS1, es decir, en cualquiera de estos dos posibles movimientos, ir de CS1 a CS2 o de CS2 a CS1, el producto obtenido es más rico que cualquiera de ellos.

Sin embargo, el llevar a cabo uno de estos procesos no asegura una concepción absoluta de la cosa, sino que es a través del ciclo recursivo $CS1 \rightarrow CS2$ (figura 3.3-1), o de la cadena iterativa $CS1 \rightarrow CS2 \rightarrow CS1 \rightarrow CS2 \rightarrow \dots$ (figura 3.3-2), mediante los cuales, tanto la estructura CS2 como las propiedades CS1, se van enriqueciendo.

Es importante considerar que existe cierta crítica** sobre el procedimiento parcial $CS1 \rightarrow CS2$, argumentado que cuando se

* En O. Gelman, G. Negroe, Determinación de las necesidades de estudio que tiene SAHOP, informe interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, Octubre, 1980, se dan los detalles del método así como su aplicación a problemas concretos.

**A. Angyal Op. Cit

***Por ejemplo en D. Fajardo, La Construcción del objeto de estudio en la planeación (pautas para la aplicación al transporte), tesis Maestría en Planeación, DEPEI, UNAM, Sept. 1987.

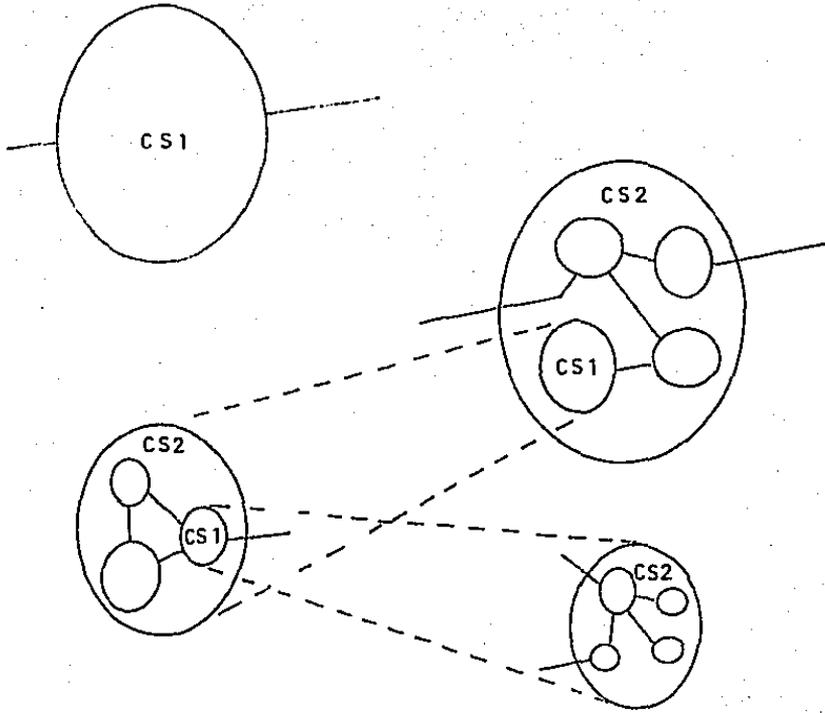


FIG 3.3-1 EJEMPLO DE CICLO RECURSIVO CS1 \nleftrightarrow CS2

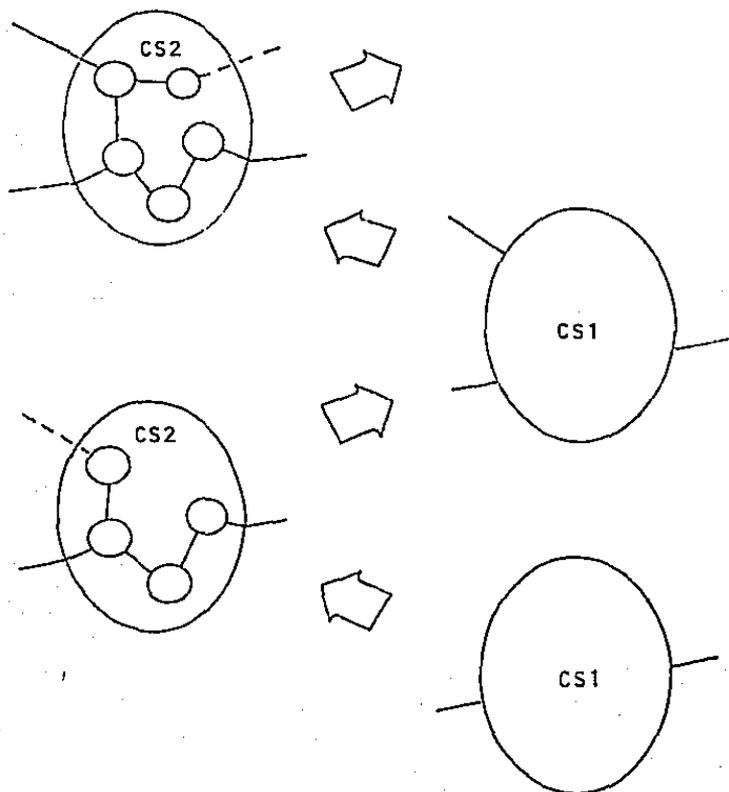


FIG 3.3-2 EJEMPLO DE CADENA ITERATIVA CS1+CS2+CS1+CS2

analiza el CS1, se buscan solamente los elementos que garantizan la propiedad que lo definió, y en este sentido, se están negando las propiedades intrínsecas de la cosa misma. Esto se resuelve con el análisis recursivo $CS1 \rightarrow CS2$, el cual puede proporcionar nuevas características que van a modificar las propiedades del CS1, que a su vez, pueden detectar nuevos elementos en el CS2 y así sucesivamente, logrando niveles de mayor profundidad en las visualizaciones y construcciones. En este sentido se consideran igualmente valiosos los procedimientos $CS1 \rightarrow CS2$ o $CS2 \rightarrow CS1$, pues es el movimiento en ambas direcciones lo que produce el avance*.

El análisis anterior permite llegar a la siguiente:

DEFINICION 3.17 *Una cosa sistema general (CSG)*
 es un CS2 visto como CS1, o un CS1 visto
 como CS2.

Esta construcción resuelve los problemas que se le habían identificado a cada una de las visualizaciones parciales. Cuando el CS2 es visualizado como CS1 quedan definidas sus propiedades integrales y su entorno, planteándose:

* Esto es la esencia de la dialéctica, es decir, la negación del CS1 produce el CS2, cuya negación lleva a un CS1 mejor elaborado que el primero, y así sucesivamente, ver por ejemplo, G. Hegel, Op. Cit.

POSTULADO 3.3 En un CSG, debe existir, al menos un elemento ligado con el entorno, y al menos un elemento con el cual está ligado el entorno.

Asimismo, cuando el CS1 es visualizado como CS2 para conocer su estructura, es posible encontrar los elementos que determinan el estado interno y, de esta forma, se reduce la incertidumbre sobre las diferentes respuestas a mismas acciones.

Finalmente, es importante considerar la siguiente:

PROPOSICION 3.2 El conjunto formado por un CSG y su entorno es un CSG, llamado *el suprasistema del CSG*.

PRUEBA. Puede verse fácilmente que el suprasistema es CS2, debido a que todo elemento del entorno está ligado con el CSG, y si se le asigna la propiedad de destacar las propiedades del CSG, se tiene que también es CS1 y la prueba termina.

Es claro que en cualquier CSG, existe un conjunto mayor que su entorno, que se define como:

DEFINICION 3.18 El conjunto que contiene al suprasistema y que sin determinar al CSG, influye en su estado, se denomina *medio ambiente*.

Esto concluye la definición del sistema, que es el objetivo principal de este trabajo, sin embargo, se considera importante llevar esta definición a un lenguaje de mayor rigurosidad, a lo cual se dedicará el siguiente capítulo.

4. FORMALIZACION DEL CONCEPTO DE SISTEMA

En el capítulo anterior ha sido construida la concepción sistémica, entendida como la definición de los paradigmas sistémicos y las construcciones correspondientes. Esta descripción, realizada en un lenguaje común, es suficiente para permitir su uso en la identificación de las cosas sistemas generales (CSG), la elaboración de constructos y el desarrollo de modelos.

Sin embargo, su interpretación por diversos lectores puede diferir y, lo que ocurre frecuentemente en el proceso cognoscitivo, producir ambigüedad y confusión. La misma práctica de la investigación científica acude, cuando es posible por el nivel de la conceptualización lograda y, a su vez, por la

capacitación adecuada del investigador, a usar un lenguaje formal* que permite garantizar la rigurosidad y la precisión necesaria.

Es por ello que este capítulo se dedica a realizar esta formalización a través de construcciones lógico-matemáticas tales como definiciones, axiomas, proposiciones, corolarios, etc., tratando al mismo tiempo, de mantener informado al lector, a través de comentarios sobre su interpretación en la realidad para facilitar su comprensión.

Esta formalización se realiza, conservando la misma heurística empleada en el capítulo anterior, esto es, desarrollandola para cada tipo de construcciones por separado, en los subcapítulos 4.1, 4.2 y 4.3, respectivamente.

4.1 FORMALIZACION DE LAS CONSTRUCCIONES DEL PRIMER TIPO

De acuerdo con la construcción establecida en 3.1, los elementos principales en el paradigma sistémico del primer tipo son: el tiempo, la cosa sistema 1, su entorno y el canal; es por ello que se ha dividido la axiomática en 3 grupos correspondientes al tiempo, al CS1 y su entorno, y al canal.

* Se entiende por lenguaje formal al usado por las matemáticas, basado exclusivamente en la lógica de las formas: lógica formal, ver E. Nagel, La lógica sin metafísica, Ed. Tecnos, Madrid, 1974.

4.1.1 Axiomas de tiempo

AXIOMA 4.1 Existe un espacio T , el cual es totalmente ordenado* mediante la relación $<$.

Este axioma establece la *dirección del tiempo*** que, postulado de esta manera, puede ser continuo o discreto.

DEFINICION 4.1 Si t_0, t_1 son elementos de T tales que $t_0 < t_1$, se define el *intervalo*:

$$\tau = [t_0, t_1) = \{t \in T \mid t_0 < t_1\} \cup \{t_0\},$$

siendo $\mathcal{T} = \{\tau = [t_0, t_1), \text{ para } t_0, t_1 \in T\}$ el conjunto de intervalos.

Esta definición permite afirmar que el subconjunto τ de T , también es totalmente ordenado con el orden que hereda de T ,

* Un espacio totalmente ordenado es un conjunto A en el cual está definida una relación $<$ que cumple las siguientes condiciones:

1. Si $a < b$ entonces $b \not< a$ (asimetría)
2. Si $a < b$ y $b < c$ entonces, $a < c$ (transitividad)
3. Para todo $a, b \in A$, se tiene $a < b, b < a$ ó $a = b$ (tricotomía)

Por otro lado, la relación $a \leq b$ indica que $a < b$ ó $a = b$.

** Algunos axiomas que se postulan en este trabajo equivalen a los considerados por diferentes escuelas con cierta denominación particular, es por ello que se indicará, en ese mismo lenguaje, el nombre de la propiedad correspondiente.

y, además, tiene elemento más pequeño, es decir, $t_0 < t$, para todo elemento $t \in \tau$. Los subconjuntos τ son intervalos de tiempo.

DEFINICION 4.2 Dos elementos $\tau_1, \tau_2 \in T$ son secuenciales, si

$$\sup \tau_1 = \min \tau_2^*$$

Entonces, para cualquier par de elementos secuenciales τ_1, τ_2 de T se define la operación de concatenación

$$C : T \times T \rightarrow T \quad \text{como}$$

$$C [[t_0, t_1), [t_1, t_2)] = [t_0, t_2) \quad (4.1)$$

PROPOSICION 4.1 La operación de concatenación es asociativa y no conmutativa.

* El supremo de un conjunto A ($\sup A$), es el elemento b , tal que $b \geq a$ para todo a elemento de A y, además, si existe z tal que $z > a$ para todo a elemento de A , entonces $b < z$. Mientras que el mínimo (máximo) de un conjunto A es el elemento w de A tal que $w \leq a$ ($w \geq a$) para todo a elemento de A . La diferencia fundamental entre estos dos conceptos consiste en que el mínimo (máximo) siempre pertenece al conjunto, lo que no sucede siempre con el supremo, en el caso de conjuntos cerrados (topológicamente hablando), el supremo coincide con el máximo.

La prueba es obvia y se omite.

4.1.2 Axiomas del CSI y su entorno

AXIOMA 4.2 Existe un conjunto X que es igual al producto cartesiano de n conjuntos, es decir,

$$X = X_1 \times X_2, \dots, X_n$$

X es el conjunto de todos los posibles estados, tanto del sistema como de su entorno.

AXIOMA 4.3 Existe un conjunto ϕ de funciones que tienen por dominio a un subconjunto de T y por contradominio a X , es decir,

$$\phi = \{f:T \rightarrow X \mid f \text{ es una función}\}$$

Se denotará por $f_{[t_0, t_1)}$ a la función f de ϕ cuyo dominio está restringido al intervalo $[t_0, t_1)$.

Este axioma afirma que el conjunto X de posibles estados está *ordenado* en el tiempo, es decir, se tiene:

COROLARIO 4.1 Puede afirmarse que si $E_1 = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ y $E_2 = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ son dos estados para los cuales existe una función f tal que:

$$f(t_1) = E_1, \quad f(t_2) = E_2$$

y además $t_1 < t_2$

entonces, el estado E_1 es anterior al estado E_2 .

DEFINICION 4.3 Si $f_{[t_0, t_1)}, g_{[t_1, t_2)} \in \Phi$

Se define la concatenación de funciones mediante la función h , como:

$$h(t) = f(t) \quad \text{si } t \in [t_0, t_1)$$

$$h(t) = g(t) \quad \text{si } t \in [t_1, t_2)$$

y se escribe:

$$f_{[t_0, t_1)} g_{[t_1, t_2)} = h_{[t_0, t_2)}, \quad (4.2)$$

teniendo como caso particular a:

$$f_{[t_0, t_1)} f_{[t_1, t_2)} = f_{[t_0, t_2)}$$

Esta definición se refiere a la concatenación o secuenciación de estados ordenados en el tiempo del sistema y su entorno*.

AXIOMA 4.4 Para cada sistema existen dos subconjuntos no vacíos de X , denotados por W y Σ .

Los conjuntos W y Σ son los conjuntos de estados del entorno y del CS1, respectivamente, los cuales permiten postular:

AXIOMA 4.5 Para cada sistema existen los subconjuntos $U(T)$, $V(T)$ y $\Sigma(T)$ de Φ , relacionadas con W y Σ de la siguiente manera:

$$U(T) = \{u(t) \in \Phi \mid u:T \rightarrow W\}$$

$$V(T) = \{v(t) \in \Phi \mid v:T \rightarrow W\}$$

$$\Sigma(T) = \{\Sigma(t) \in \Phi \mid s:T \rightarrow \Sigma\}$$

Estos subconjuntos de funciones corresponden a los conjuntos de funciones de entrada, de salida y de estados del CS1 y permiten identificar a los subconjuntos U, V de W como los rangos de las funciones $u(t)$ y $v(t)$, respectivamente.

* Siguiendo la definición 3.17, en la formalización de sistema como CS1, se usará indistintamente los términos CS1 y sistema.

AXIOMA 4.6 El conjunto $\Sigma(T)$ es tal que si

$$s' [t_0, t_1) = s'' [t_0, t_1),$$

para $s'(t), s''(t) \in \Sigma(T)$,

entonces $s'(t) = s''(t)$

Este postulado condiciona al sistema a que en cada momento po sea un sólo estado*.

AXIOMA 4.7 Existe función

$$\psi_1: U \times \Sigma \rightarrow V \quad \text{tal que:}$$

$$\text{Si } U' [t_0, t_1) = U'' [t_2, t_3) \quad \text{con } t_3 - t_2 = t_1 - t_0$$

* Es importante aclarar que la relación de igualdad, a la que se refiere este axioma es relativa a las características del sistema, por ejemplo, en los sistemas probabilísticos, en donde la función $s(t)$ es una función de probabilidad, la igualdad puede referirse a la media y a la varianza, o a los primeros n momentos; o más estrictamente, a la igualdad entre las funciones de densidad salvo cierta constante. También en el caso de que los valores de $s(t)$ se tomen en un conjunto borroso, la relación de igualdad se refiere a la igualdad entre funciones borrosas, ver D. Dubois, H. Prade, Fuzzy Sets and Systems, Academic Press, New York, 1980.

y $s(t_0) = s(t_2)$, entonces

$$\Psi_1[u' [t_0, t_1], s(t_0)] = \Psi_1[u'' [t_2, t_3], s(t_2)] \quad (4.3)$$

La función Ψ_1 es la función que representa la *relación entrada-estado interno-salida* del sistema y la condición se refiere a la *causalidad del sistema* es decir, si el sistema tiene el mismo estado inicial y se le aplica la misma entrada en diferentes instantes de tiempo, la salida es la misma.

AXIOMA 4.8 Existe función

$$\Psi_2 : U \times \Sigma \rightarrow \Sigma \quad \text{tal que}$$

$$\Psi_2[u [t, t], s(t)] = s(t) \quad (4.4)$$

Ψ_2 es la función de *transición de estados internos* y la condición pide lo que se conoce como *consistencia* del sistema en todo instante de tiempo.

AXIOMA 4.9 Si $u, u', u'' \in U$, tales que

$$u [t_0, t_2] = u' [t_0, t_1] u'' [t_1, t_2],$$

entonces la función Ψ_1 satisface

$$\Psi_1[u|_{t_0, t_2}, s(t_0)] = \Psi_1[u'|_{t_0, t_1}, s(t_0)] \Psi_1[u''|_{t_1, t_2}, s(t_1)] \quad (4.5)$$

Nótese que la operación del segundo miembro de (4.5) está bien definida, según la definición 4.3, debido a que

$$\Psi_1[u'|_{t_0, t_1}, s(t_0)] \text{ y } \Psi_1[u''|_{t_1, t_2}, s(t_1)] \in \Phi$$

Este axioma pide que la respuesta de un sistema que está en estado $s(t_0)$ a una entrada

$$u'|_{t_0, t_1} u''|_{t_1, t_2}$$

debe ser igual a la respuesta concatenada del sistema que se compone de su respuesta, en el mismo estado, a la entrada $u'|_{t_0, t_1}$, y una posterior respuesta del sistema en estado $s(t_1)$ a la entrada $u''|_{t_1, t_2}$. Esta propiedad se le llama de *composición*.

Análogamente, la función Ψ_2 tiene la misma propiedad de *composición*.

AXIOMA 4.10 Si $u, u', u'' \in U$ son como en el axioma anterior, entonces Ψ_2 satisface:

$$\Psi_2 [u [t_0, t_2), s(t_0)] = \Psi_2 [u'' [t_1, t_2), [u' [t_0, t_1), s(t_0)]]$$

Es decir, el estado $s(t_2)$ al cual se traslada el sistema desde el estado inicial $s(t_0)$, bajo la acción de entrada:

$$u [t_0, t_2) = u' [t_0, t_1) u'' [t_1, t_2)$$

es igual al estado al cual se transfiere el sistema desde el estado inicial $s(t_0)$, bajo impacto de entrada $u' [t_0, t_1)$, al estado $s(t_1)$ y, posteriormente, acción $u'' [t_1, t_2)$ al estado $s(t_2)$.

4.1.3 Axiomas del canal

Se introduce el siguiente par de axiomas:

AXIOMA 4.11 Existe una función $g_u: W \rightarrow U$ tal que $u(t)$ es la función de entrada, es decir,

$$g_u [f(t)] = u(t)$$

en donde $f: T \rightarrow W$ es una función de estado del entorno

Esta función transfiere los valores del entorno en el tiempo, hasta el sistema, o sea que, la función g_u llamada *función del canal de entrada*, se encarga de proyectar los estados del entorno como funciones de entrada.

AXIOMA 4.12 Existe una función $h_v: V \rightarrow W$ tal que $v(t)$ es el vector de salida, esto es,

$$h_v[v(t)] = f(t)$$

Análogamente, h_v es la función que hace transformar los estados del sistema como impactos sobre el entorno, llamada *función del canal de salida*.

Con esto se concluye la formalización de las construcciones del primer tipo.

4.2 FORMALIZACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES DEL SEGUNDO TIPO

De la misma forma que el subcapítulo anterior, esta formalización se basa en las construcciones elaboradas en 3.2, por lo que la axiomática debe considerar a los elementos, la liga y la estructura.

Esta visualización hace referencia a un conjunto X de elementos ligados formando una estructura, debido a que cada

elemento es un CS1, le pertenecen todos los axiomas del subcapítulo anterior, por lo que para cada elemento $i \in X$ existen:

- W_i conjunto de estados del entorno del elemento i ,
- U_i conjunto de estados de entrada del elemento i ,
- V_i conjunto de estados de salida del elemento i ,
- Σ_i conjunto de estados internos del elemento i ,
- $\{u_i(t)\}$ conjunto de funciones de entrada del elemento i ,
- $\{v_i(t)\}$ conjunto de funciones de salida del elemento i ,
- $\{\sigma_i(t)\}$ conjunto de funciones de estado interno del elemento i ,
- $\Psi_1^i(t)$ función de relación entrada-salida del elemento i ,
- $\Psi_2^i(t)$ función de transición de estados del elemento i ,
- $g_u^i(t)$ función del canal de entrada del elemento i ,
- $h_v^i(t)$ función del canal de salida del elemento i .

Con esta notación es posible pasar a la axiomatización de la liga y la estructura.

4.2.1 Axiomas de liga y estructura

AXIOMA 4.13 Para los elementos $i, j \in X$ tales que $i \rightarrow j$, existen funciones Π_k y Π_ℓ tales que:

$$\Pi_k h_v^i = \Pi_\ell g_u^j \quad (4.6)$$

Este axioma establece, la liga entre los elementos i y j , la cual puede no ser completa o total, es decir, algún componente de la salida del elemento i será una componente de la entrada del elemento j . En este sentido, las funciones Π_k y Π_ℓ son funciones de proyección, o sea, funciones de la forma

$$\Pi_k : X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \rightarrow X_k \text{ en donde}$$

$$\Pi_k (x_1, x_2, \dots, x_n) = x_k$$

DEFINICION 4.4 Una *gráfica* o *red dirigida*

$G = G(X, N)$ es una pareja de conjuntos X y N ,

y una función inyectiva* $r: N \rightarrow X \times X$ tal que
 si $r(a) = (i, i')$ entonces $i \neq i'$

Los elementos de X reciben el nombre de *nodos o vértices* y los de N se llaman *arcos o aristas*. La condición de que la función r sea inyectiva impide que existan dos diferentes arcos entre un mismo par de nodos.

DEFINICION 4.5 Una gráfica dirigida $G(X, N)$ es conectada, si para todo $i \in X$, existe $a \in N$ tal que, $r(a) = (i, k)$ o $r(a) = (k, i)$, para algún $k \in X$.

Estas definiciones permiten postular los siguientes:

AXIOMA 4.14 En un CS2, existe una gráfica dirigida y conectada $G(X, S)$

Donde X es conjunto de elementos del CS2 y S es el conjunto de ligas entre esos elementos.

* Una función $f: A \rightarrow B$ se dice que es inyectiva, si para todo $b \in B$, $f^{-1}(b)$, tiene cuando más un elemento, es decir, f es inyectiva si y sólo si, cuando $f(a) = f(b)$ entonces, $a = b$.

AXIOMA 4.15 Existe un nodo A fuera de la gráfica, tal que está ligado a ella, al menos por un arco.

AXIOMA 4.16 Existe un nodo B fuera de la gráfica con el cual está ligada ella al menos con un arco.

El nodo A representa la influencia del entorno sobre los elementos del CS2, y el nodo B se refiere a la de los elementos del CS2 sobre el entorno.

De esta forma, existe una gráfica $G'(X',S')$ que contiene a la gráfica $G(X,S)$ y, además a los nodos A y B y sus ligas con la misma.

En el caso en que el conjunto X posea un número finito n de elementos, entonces puede definirse:

DEFINICION 4.6 En la gráfica $G(X,S)$, se define la matriz de *adyacencia* nodos-nodos

$M = \{m_{ij}\}$ de orden $n \times n$, donde

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si } (i,j) \in G(X,S) \\ -1 & \text{Si } (j,i) \in G(X,S) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Un uno positivo en el elemento m_{ij} de la matriz M significa que $i \rightarrow j$, mientras que un negativo en el mismo elemento significa lo contrario, esto es, que $j \rightarrow i$; el cero significa la falta de liga entre i y j .

4.3 HACIA LA FORMALIZACION DE LA CONSTRUCCION CSG

En los subcapítulos anteriores, ha sido desarrollada la axiomatización de las construcciones parciales de CSG mediante el empleo de herramientas matemáticas; en este sentido y de acuerdo con la secuencia del capítulo 3, este subcapítulo debe introducir la axiomática de la función de las formalizaciones de CS1 y CS2.

Esta fusión, como ya se ha indicado en 3.3, se puede realizar en dos diferentes sentidos, visualizar el CS1 como CS2 o viceversa.

Por un lado, de acuerdo con las definiciones y axiomas del subcapítulo 4.1, se tiene,

COROLARIO 4.1 Un sistema del tipo 1 (S1) es una quintupla $S1 = (\Sigma(T), U(T), V(T), \Psi_1, \Psi_2)$ que satisface las definiciones 4.1 a 4.3 y los axiomas 4.1 a 4.12.

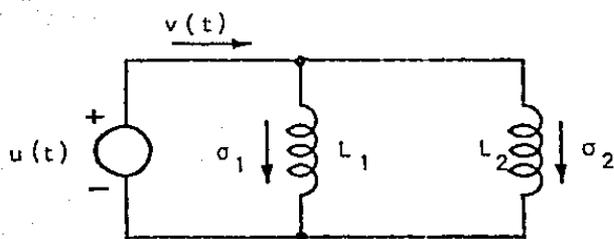
Y, por el otro, de acuerdo con los axiomas y definiciones correspondientes al subcapítulo 4.2, se tiene,

COROLARIO 4.2 Un sistema tipo 2 (S2) es la triplata $S2 = (G, \Lambda, B)$, en donde $G = (X, S)$ es una gráfica dirigida y conectada, X es un conjunto de elementos que son $S1$ y, además, se satisfacen los axiomas 4.13 a 4.16 y las definiciones 4.4 y 4.5

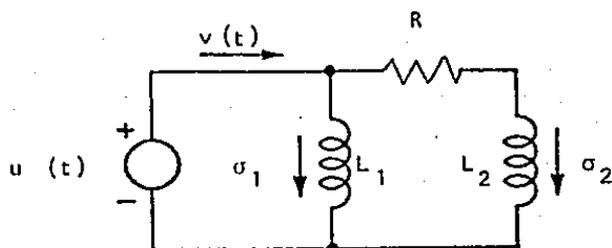
En este sentido, la axiomatización del proceso $S2 \rightarrow S1$ debe definir la quintupla $S1 = (\Sigma(T), U(T), V(T), \Psi_1, \Psi_2)$ a través de las quintuplas $S1_{\lambda} = (\Sigma_{\lambda}(T), U_{\lambda}(T), V_{\lambda}(T), \Psi_1^{\lambda}, \Psi_2^{\lambda})$ y de las relaciones dadas por $G(X, S)$, donde $X = \{S1_{\lambda} | \lambda \in I\}$.

Sin embargo, establecer en términos generales las relaciones de $\Sigma(T)$, Ψ_1 y Ψ_2 con $\Sigma_{\lambda}(T)$, Ψ_1^{λ} y Ψ_2^{λ} no es tan sencillo, debido a que esta relación posee características muy diversas en cada sistema en particular.

Por ejemplo, considerando como sistemas a las redes eléctricas mostradas en la figura 4.3-1; sea la entrada $u(t)$ el voltaje en el tiempo t , la salida $v(t)$ la corriente en el tiempo t y las corrientes $\sigma_1(t)$, $\sigma_2(t)$ los estados de las componentes L_1 y L_2 , las relaciones entre ellas se muestran en la figura, en donde se observa que ambos sistemas difieren



(A)



(B)

FIG 4.3-1 EJEMPLO DE RELACION ENTRADA-SALIDA EN BASE A LA ESTRUCTURA

solamente en la anexión de la resistencia R entre las componentes L_1 y L_2 en el sistema b . Sin embargo, la función Ψ_1 para el sistema (a) es*:

$$\Psi_1 [(\sigma_1(t_0), \sigma_2(t_0)), u(t)] = v(t) = \sigma_1(t_0) + \sigma_2(t_0) + \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}\right) \int_{t_0}^t u(\xi) d\xi$$

mientras que para el sistema (b) es:

$$v(t) = \sigma_1(t_0) + \sigma_2(t_0) e^{-(t-t_0)} + \int_{t_0}^t (1+e)^{-(t-\xi)} u(\xi) d\xi$$

Como puede observarse, aún en el caso de los sistemas tan sencillos como los de la figura 4.3-1, la relación entre las salidas de los elementos y la salida del sistema general es compleja.

Asimismo, la axiomatización de $CS1 \rightarrow CS2$ que debe identificar las quintuplas $(\Sigma_{\lambda}(T), U_{\lambda}(T), V_{\lambda}(T), \Psi_1^{\lambda}, \Psi_2^{\lambda})$ y la relación $G(X,S)$, a partir de la quintupla general $(\Sigma(T), U(T), V(T), \Psi_1, \Psi_2)$, tiene la misma complicación.

Es así que la axiomatización de la fusión se considera un problema especial, que está fuera de los alcances de este trabajo, sin embargo, se espera que a partir de las axiomatizaciones parciales de $S1$ y $S2$ se continúe trabajando en la misma línea y se llegue a obtener algunos avances en el futuro.

* Ver L. Zadeh, C. Desoer, Linear System Theory, Mc Graw Hill Co., New York, 1963.

5. GENERALIDAD DE LA DEFINICION

Como puede observarse, el objetivo de este trabajo, consistente en la elaboración y formalización del concepto de sistema, ya ha sido satisfecho, dejando para este capítulo, el análisis de la eficiencia de la definición propuesta.

Mostrar la eficiencia de cualquier definición puede ser una tarea compleja, debido a que el concepto de eficiencia no tiene una definición rigurosa.

Sin embargo, es posible referir la eficiencia del enfoque a dos aspectos importantes: por un lado, que sea funcional y aplicable en el sentido de que permita identificar objetos de estudio, elaborar constructos y resolver problemas y, por el otro, la generalidad de la definición elaborada en relación con las existentes en la literatura.

En relación con el primer criterio puede mencionarse que su aplicabilidad ya se ha hecho manifiesta, considerando que este trabajo cristaliza y lleva a un nivel riguroso algunos de los conceptos usados en la planeación en general* y en la Investigación Interdisciplinaria de Desastres**, en particular; además, también se espera, que su aplicabilidad pueda ser extendida a otras áreas en futuros estudios.

Por otro lado, no se puede demostrar formalmente la generalidad absoluta del enfoque, debido a la imposibilidad de obtener todas las definiciones existentes de sistema, y aún en el caso de obtenerlas, no puede garantizarse, que en el periodo de tiempo en que se realiza el análisis, no sea elaborada otra definición de mayor generalidad.

En este sentido, se ha optado por seleccionar las definiciones de los autores más importantes, de que se tiene información y, además, considerando que en ocasiones, algunos autores proponen definiciones análogas, por pertenecer a la misma escuela, se procura no repetir dos miembros de la misma corriente, sino considerar al más significativo como representante***.

* Por ejemplo en G. Sánchez, La Organización y su diagnóstico bajo el enfoque sistémico: un caso práctico, Tesis de Doctorado en Administración (Organizaciones) dirigida por O. Gelman, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM, abril, 1986.

** Gelman, O. La Problemática de los desastres urbanos bajo el enfoque interdisciplinario, Encuentro de expertos sobre urbanismo, UNAM, Sept., 1987, (En publicación).

*** Es importante aclarar que el criterio de selección de los autores es subjetivo y es posible que el autor tenga una lista que considere más importante, sin embargo, esto no es una demostración formal, tan solo tiene fines ilustrativos.

Es así que en este capítulo, se analizan las definiciones de R. Ackoff, M. Arbib, L.V. Bertalanffy, R. Kalman, O. Lange, M. Mesarovic, A. Rapoport y L. Zadeh.

Este análisis se realiza tratando de interpretar las definiciones de estos autores en términos de la elaborada en este trabajo; posteriormente, esta labor se sintetiza en una tabla general, que muestra la ubicación de cada una de estas definiciones como un caso particular de la propia*.

5.1 POSTURA DE R. ACKOFF

Una de las corrientes modernas y divulgadas más importantes es, sin duda, la de R. Ackoff de la escuela de Wharton en la Universidad de Pennsylvania, cuya colección de trabajos está encaminada a tratar los sistemas con propósito y las organizaciones. Desde sus trabajos de 1973** y 1974***, Ackoff define el concepto de sistema en la siguiente forma:

* Esta tabla no pretende perjudicar las definiciones de los autores, ni mostrar su insuficiencia, sino resaltar las características que ellas identifican.

** R. Ackoff, 1973, Op. Cit,

*** R. Ackoff, Beyond problem solving, General Systems, Vol. XIX, 1974, pp 237-239.

DEFINICION Un sistema es una entidad que tiene las cuatro siguientes características:

1. Tiene dos o más partes, es decir, no es un último elemento o una parte indivisible. Es un todo que tiene partes y él mismo es parte de un todo mayor. Algunas de sus partes son ellas mismas un todo.
2. Cada parte puede tener un efecto sobre el comportamiento o las propiedades del todo. De esta forma, el todo depende de cada una de sus partes.
3. El efecto que cada parte puede ejercer sobre el todo depende del comportamiento o propiedades de al menos alguna otra parte, es decir, ninguna parte tiene un efecto independiente sobre el todo y cada parte depende de al menos alguna otra parte.
4. Cualquier subconjunto de partes que tienen las mismas características que las atribuidas a las partes: ellos pueden ejercer un efecto sobre el comportamiento o propiedades del todo; ellos son independientes y, si los subconjuntos son combinados en subconjuntos más grandes, ellos también tienen las mismas propiedades.

Como puede verse, Ackoff define en su postulado 1 que un sistema es un conjunto de objetos, lo que es equivalente a una de las consideraciones contempladas en la definición 3.16. En el postulado 2, considera la relación entre elementos que se define como liga en este trabajo en la definición 3.13.

Por otro lado, el postulado 3 equivale a la condición de que los elementos no se encuentren aislados, establecida en el postulado 3.2 y, finalmente, en su cuarto postulado, Ackoff establece la condición de que el sistema es una unidad, en el sentido de que ningún subconjunto de él puede tener las mismas propiedades, sin embargo, en la definición 3.5 está contemplado.

Es así que la definición de R. Ackoff, que es una de las más completas y aceptadas, constituye un caso parcial de la elaborada en este trabajo.

5.2 EL ENFOQUE DE ARBIB

Los trabajos de M. Arbib y E. Manes* conocidos como el enfoque categórico del control definen el concepto de sistema descomponible en la siguiente forma:

* M. Arbib, E. Manes, Foundations of System Theory: Decomposable Systems, Automática, Vol. 10, pp. 285-302, Pergamon Press, 1974.

DEFINICION Sea K una categoría. Un sistema descomponible en una categoría es una sextupla

$$S = (Q, F, I, Y, G, H)$$

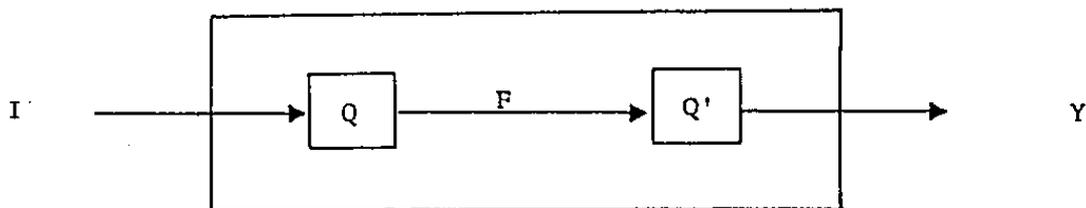
tal que:

- (Q, F) es un sistema dinámico* en K ,
- G es un K -morfismo de la forma $G: I \rightarrow Q$ (función de entrada)
- H es un K -morfismo de la forma $H: Q \rightarrow Y$ (función de salida).

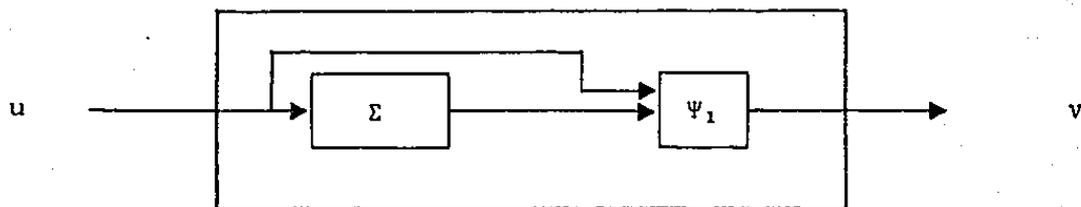
Esta definición, es una de las más completas cuando se concibe al sistema como CS_1 , y pueden verse las relaciones siguientes con la elaborada en este trabajo:

El conjunto Q corresponde al Σ definido en el axioma 4.4. La relación de entrada y salida, definida por Arbib, puede ser visualizada en dos partes, como se ilustra en el siguiente diagrama.

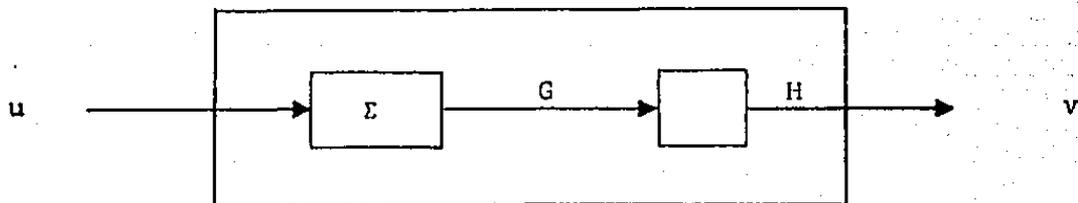
* Arbib define como sistema dinámico al par (Q, F) , en donde Q es un objeto y $F: Q \rightarrow Q$ es un morfismo.



Por otro lado, el diagrama correspondiente a la función Ψ_1 del axioma 4.7 es:



La cual puede hacerse corresponder con la propuesta por Arbib si se elimina en el diagrama anterior la conexión superior, es decir



Que equivale al caso parcial en que Ψ_1 puede ser descompuesta en $\Psi_1 = H \circ G$

Es así que la definición propuesta por Arbib, la cual tiene como objetivos definir conceptos tales como controlabilidad y observabilidad*, puede verse como un caso parcial de la propuesta en el capítulo 4.

5.3 LA IDEA DE L. BERTALANFFY

Como se ha mencionado anteriormente, los trabajos de L. Bertalanffy lo catalogan como uno de los pioneros en la era de los sistemas. En su más famoso trabajo**, él define sistema como:

DEFINICION. Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados. Interrelación significa que elementos P se encuentran en una relación R , tal que el comportamiento de un elemento p en R , es diferente de su comportamiento en otra relación R' .

Es muy claro que esta definición puede situarse en la visualización del segundo tipo (3.2). Sin embargo, aún dentro de esta concepción, la relación que menciona Bertalanffy, equivale al caso particular de la liga en la definición 3.14, cuando $i \leftrightarrow j$, por lo que su definición puede ubicarse como un caso parcial de la de CS2 (definición 3.16).

* Ibid, pág. 294

** L.V. Bertalanffy, Teoría General de sistemas, Fondo de Cultura Económica, México, 1976.

5.4 LA DEFINICION DE KALMAN

Una de las definiciones matemáticas más importantes corresponde a la elaborada por Kalman* en 1970, que consiste en:

DEFINICION Un sistema dinámico es un concepto matemático de finido por los siguientes axiomas:

- a) Existe un conjunto de tiempo T , un conjunto de estado X , un conjunto de valores de entrada U , un conjunto de funciones aceptables de entrada $\Omega = \{w: T \rightarrow U\}$, un conjunto de valores de salida Y , y un conjunto de funciones de salida $\Gamma = \{\delta: T \rightarrow Y\}$
- b) (Dirección del tiempo) T es un subconjunto ordenado de reales.
- c) El espacio de entradas satisface las siguientes condiciones.
- (1) Ω es no vacío
- (2) (concatenación de entradas). Un segmento de entrada $w|_{(t_1, t_2]}$ es una función $w \in \Omega$ restringida a $(t_1, t_2] \cap T$. Si $w, w' \in \Omega$ y $t_1 < t_2 < t_3$, existe

* En Kalman, Falb, Arbib, Topics in Mathematical system theory, Mc Graw Hill, New York, 1969.

$$w''(t_1, t_2] = w'(t_1, t_2] \quad \text{y} \quad w''(t_2, t_3] = w'(t_2, t_3]$$

d) Existe una función de transición de estados

$$\phi: T \times T \times X \times \Omega \longrightarrow X$$

cuyo valor es el estado

$$x(t) = \phi(t; \tau, x, w) \in X$$

que resulta al tiempo t de aplicar la acción de entrada $w \in \Omega$ al sistema con estado inicial $x(\tau)$ en tiempo inicial $\tau \in T$ y satisface las siguientes propiedades:

(1) ϕ está definida para todo $t \geq \tau$, pero no necesariamente para todo $t < \tau$

(2) (Consistencia) $\phi(t; t, x, w) = x$ para todo $t \in T$, $x \in X$ y $w \in \Omega$.

(3) Para cualquier $t_1 < t_2 < t_3$ se tiene que,
 $\phi(t_3; t_1, x, w) = \phi(t_3; t_2, \phi(t_2; t_1, x, w), w)$
 para todo $x \in X$ y $w \in \Omega$

(4) (Causalidad) Si $w, w' \in \Omega$ y $w(\tau, t] = w'(\tau, t]$,
 entonces $\phi(t; \tau, x, w) = \phi(t; \tau, x, w')$.

e) Existe una función $n: T \times X \rightarrow Y$, la cual define la salida $y(t) = n(t, x(t))$. La función $(\tau, t] \rightarrow Y$ dada por

$\sigma + \eta (\sigma, \phi (\sigma; \tau, x, w))$, $\sigma \in (\tau, t]$, es un segmento de salida, esto es, la restricción $\gamma_{(\tau, t]}$ de algún $\gamma \in \Gamma$ a $(\tau, t]$.

Esta definición corresponde exclusivamente a la formalización del primer tipo (subcapítulo 4.1), y contiene los axiomas de tiempo, dirección de tiempo y concatenación de entradas de 4.1, 4.2 y 4.3.

La función ϕ que define Kalman equivale a la función ψ_1 de este trabajo y sus propiedades d_1, d_2, d_3, d_4 corresponden a los axiomas 4.6, 4.8, 4.10 y 4.7, respectivamente.

Al igual que Arbib, Kalman descompone el proceso de entrada y salida y así, sus funciones ϕ y η son el caso parcial en que ψ_1 puede ser descompuesto como:

$$\Psi = \eta \circ \phi$$

5.5 LOS TODOS DE LANGE

Otro enfoque bastante completo* es el planteado por O. Lange en sus trabajos de 1965** en el cual define sistema en la siguiente forma:

* La completez mencionada, es con referencia a la definición del sistema general elaborada en este trabajo.

** O. Lange, Op. Cit.

DEFINICION. Un sistema es un conjunto de elementos activos acoplados en donde cada elemento del sistema está acoplado cuando menos con uno de los otros elementos del sistema, o al menos uno de los otros elementos del sistema está acoplado con el elemento dado.

En donde por elemento activo entiendo un objeto material que depende de una manera determinada de otros objetos materiales y actúa de un modo determinado sobre otros objetos materiales. El conjunto de otros objetos materiales será denominado medio ambiente del elemento dado, se supone que:

1) El medio ambiente actúa sobre el elemento E, induciendo en éste ciertos estados de un tipo estrictamente definido, tal como temperatura, presión, carga eléctrica, sensación, impresión sensorial. Los tipos individuales de tales estados serán denominados entradas del elemento E.

2) El elemento E actúa sobre el medio ambiente asumiendo ciertos estados de un carácter estrictamente definido, como temperatura, campo magnético, color, generación de sonidos, movimiento. Los tipos individuales de tales estados serán denominados salidas del elemento E.

3) El elemento E posee cuando menos una entrada y al menos una salida.

4) Los estados de entrada determinan unívocamente los estados de salida.

Por un lado, analizando la definición de elemento activo, puede verse que corresponde a la primera parte de la definición 3.5, el medio ambiente equivale al entorno definido en 3.6.

Las condiciones 2 y 3 son las definiciones de entrada, salida y estado contempladas en 3.7, 3.8 y 3.9 respectivamente, mientras que la condición 4 establece la relación de entrada y salida en forma única del axioma 4.7.

Por otro lado, la definición de sistema como conjunto de elementos activos acoplados equivale a la definición de CS_2 en la definición 3.16, en donde, acoplamiento significa liga (definición 3.14). Lange también considera la condición de que en un sistema no hay elementos aislados, del postulado 3.2. De esta manera, la definición de O . Lange, constituye un caso particular de la elaborada en este trabajo.

5.6 LA CONCEPCION DE MESAROVIC

Uno de los trabajos algebraicos más importantes corresponde al de M. Mesarovic*.

DEFINICION Un sistema S es simplemente una relación de definición sobre V , en donde $V = \{ V_\lambda : \lambda \in I \}$ es una familia de objetos.

En esta definición, Mesarovic no plasma explícitamente toda su idea, ya que posteriormente en su mismo trabajo incorpora, los conceptos de entrada, salida y estado del axioma 4.5.

Los objetos equivalen a los elementos de la definición 3.13 y sus relaciones a las definiciones 3.14 y 3.15.

Es así que la definición de Mesarovic es un caso parcial de la elaborada en este trabajo.

* Mesarovic, M.D., Foundations for a general system theory, views on General Systems theory, Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology, Wiley, New York, 1964.

5.7 LA DEFINICION DE RAPOPORT

Otro de los trabajos que merece la consideración en este análisis es el de A. Rapoport*, al cual él mismo llama definición estricta de sistema.

DEFINICION Para que un objeto puede llamarse sistema, debe cumplir las siguientes condiciones:

1. Todos los eventos en el medio ambiente de dicho objeto tienen que dividirse en entradas y salidas.
2. Se identifican todas las posibles estados del sistema
3. Se identifican todas las posibles acciones de salida del sistema.
4. El estado dado y el impacto dado de entrada determinan cierta salida del sistema y un nuevo estado.

Como puede verse, según el principio 1 de Rapoport, él llama medio ambiente a lo que en este trabajo se llama entorno (definición 3.6), además, este mismo principio. Considera la separación de los estados del entorno en entradas y salidas que,

* Rapoport, A. Conceptualization of a System as a Mathematical Model, Operation Research and the Social Sciences, Londo and New York, Tavistock Publications, 1966.

con la anexión los principios 2 y 3 corresponde al axioma 4.5.

En su cuarto principio, Rapoport considera la relación entrada salida y la transición de estado equivalentes a las funciones Ψ_1 y Ψ_2 de los axiomas 4.7 y 4.8, respectivamente.

Es así que esta definición, es un caso parcial del CS1 definido en este trabajo.

5.8 LA CORRIENTE DE L. ZADEH

Una de las más completas descripciones de sistema corresponde a la proporcionada por L. Zadeh*.

DEFINICION. Un *sistema abstracto*, o, simplemente, un *sistema* S es un conjunto parcialmente interconectado de objetos abstractos $\alpha_1, \alpha_2, \dots$, llamados las componentes de S . Las componentes de S pueden ser orientados o no orientados y el número de ellas puede ser finito o infinito, en donde:

1. Un objeto abstracto es una familia de conjuntos de pares ordenados de funciones del tiempo (u, y) .
2. La primera componente U se llama, según $u_{[t_0, t_1)}$, el segmento de entrada en $[t_0, t_1)$.

* En L. Zadeh, *System Theory*, Mc Graw Hill, New York, 1969.

3. La segunda componente, $y[t_0, t_1)$, es el segmento de salida en $[t_0, t_1)$.
4. La entrada $u[t_0, t_2)$ que consta de la entrada $u[t_0, t_1)$, seguida de la entrada $u'[t_1, t_2)$ se anota con u u'.
5. El objeto abstracto se define con las ecuaciones entrada-salida y entrada-estado:

$$y(t) = A[u[t_0, t_1), s(t_0)]$$

$$s(t) = S[u[t_0, t_1), s(t_0)]$$

Como puede observarse, Zadeh llega a la definición de CSG establecida en la definición 3.17. Su concepto de objeto abstracto, coincide con el de CS1 o elemento en la definición 3.13 y, en el caso cuando el objeto abstracto de Zadeh es orientado, la interconexión equivale a la liga de la definición 3.14.

Por otro lado, en el principio 1, Zadeh establece la existencia de funciones de entrada y salida, contemplado en los axiomas 4.4 y 4.5; también define los segmentos de entrada y salida, y la concatenación, tanto de intervalos como de funciones, que corresponde a las definiciones 4.1, 4.2 y 4.3.

La función A equivale a la definición Ψ_1 del axioma 4.7 y la función S a la Ψ_2 del axioma 4.8.

Este análisis permite apreciar que, la definición de L. Zadeh, se constituye como un caso parcial de la elaborada en este trabajo.

Como ya ha sido indicado, es importante plasmar, los resultados de este análisis en una tabla general (tabla 5.1), en donde se indica la correspondencia explícita o implícita de la concepción del autor con los axiomas o definiciones de este trabajo.

Finalmente, es importante recalcar que este análisis debe realizarse con mayor profundidad, para darle también un sentido riguroso, sin embargo, no se considera prioritario en los objetivos de este trabajo y se deja para posteriores estudios.

AUTOR	C S 1											C S 2				C S G		
	COROLARIO															4.1 4.2		
	POSTULADO 3.1															3.2 3.3		
	DEFINICION 4.1 4.2 3.5 3.7 3.6 3.8 3.2 3.9											3.11 3.13 3.14 3.15 3.16				3.17		
	AXIOMA 4.1 4.2 4.3 4.4 4.5 4.7 4.8 4.9 4.10 4.11 4.12											4.13 4.14				4.15 4.16		
R. ACKOFF	=				+		+					=	=		+	=	+	
M. ARBIB	=	=				+		+	+	=							=	
L. BERTALANFFY						=						+		+			+	=
E. KALMAN	+	+	+	+	+		+	+	+	=	+						+	
L. LITVIN	=					+	+	+	=				+		+		+	=
M. MESAROVIC						=	+					+	+	+				=
A. RAPOPORT	=					+	+	+	+									=
L. ZADEH	+	+	+	+		+	+	+	+			+	+	=			+	=

= Correspondencia implícita.

+ Correspondencia explícita

TABLA 5.1 CLASIFICACION DE LAS DIFERENTES DEFINICIONES.

6. CONCLUSIONES

En términos generales, el objetivo básico del trabajo, consistente en establecer formalmente la definición del concepto de sistema, se ha cumplido.

Se ubicó el paradigma de sistemas como medio y producto en las diferentes fases del proceso cognoscitivo, lo que esclarece las confusiones surgidas por la existencia de definiciones en diferentes niveles de conocimiento.

Esto se considera una de las contribuciones más importantes del trabajo, ya que permite establecer las relaciones de tipo epistémico entre sistema real, sistema construido y sistema como modelo, y lo constituye en una herramienta fundamental en cualquier proceso de solución de problemas.

Otro aspecto importante de la definición elaborada consiste en establecer las bases que permiten continuar, es posteriores estudios, en la investigación de ciertas clases particulares de sistemas, es decir, a partir de la definición de sistema general, es posible determinar características parciales que generen una colección de sistemas para su estudio específico.

Además, se ha mostrado que las definiciones basadas en un lenguaje formal, no se deben encontrar aisladas de la realidad, sino al contrario, es indispensable establecer las ligas con ella para que sea posible su utilización en la solución de problemas.

Asimismo, se espera que en futuros estudios será posible estudiar, de manera profunda, el caracter general de la definición elaborada en relación con otras definiciones de la literatura, ya que el análisis realizado en el capítulo 5, solo pretendia mostrar someramente la característica más importante de esta definición, consistente en su flexibilidad para ubicarse en los distintos niveles de conocimiento.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de URSS. Metodología del Conocimiento Científico, Presencia Latinoamericana, México, 1985.
2. Ackoff, R., Science in the System Age: Beyond IE, OR & MS, Operation Research, Vol. 21, No. 3, 1973, pp 661-671.
3. Ackoff, R., The Aging of a young profession: Operation Research. University of Pennsylvania, 1976, pp 4-15.
4. Ackoff, R., Towards a system of systems concepts, Management Science, Vol. 17, No. 11, 1971, pp 661-671.
5. Angyal, A., A logic of Systems in Emery, F.E., (ed) Systems Thinking, Penguin Modern Management Readings, Middlesex, England, 1969
6. Arbib, M., Manes, E., Foundations of System Theory: Decomposable Systems, Automática, Vol. 10, pp 285-302, Pergamon Press, 1974, Great Britain.
7. Azarian, L., El análisis metodológico de la especificidad de la definición y descripción matemática del sistema general, Tesis de maestría, Instituto de Cibernética, Academia científica de Georgia, URSS, dirigida por O. Gelman, 1971.

8. Beiser, A., Concepts of Modern Physics, Mc Graw Hill Book, Col. USA, 1973.
9. Bertalanffy, L.V., Teoría General de los Sistemas. Fondo de Cultura Económica, México, 1976.
10. Bogdanov, A., Essays in Tektology Intersystems Publications 1980, USA.
11. Bohr, N., Atomic Physics and human knowledge, J. Wiley, New York, 1958.
12. Bruner, Goodnow, Austin, Study of thinking, John Wiley, 1956.
13. Bunge, M., Things, International Journal of General Systems, 1974, Vol. 1, No. 4, pp 229-236.
14. Chavchanidze, V., Gelman O., Modelling in science and technology knowledge, Publ., Moscu, 1966 pp 32.
15. Churchman, W., Ackoff, R., Methods of Inquiry, Educational Publishers, 1950.
16. Dubois, D., Prade, H., Fuzzy Sets and Systems: theory and applications, Academic Press, New York, 1980.
17. Einstein, A., The Evolution of Physics, Simon & Schuster Inc. New York, 1939.
18. Engels, F., Dialéctica de la Naturaleza, Ediciones Quinto Sol, México, 1972.
19. Ferrater Mora, Jose, Diccionario de filosofía, Ed. Sudamericana, Buenos Aires, 1969.
20. Galilei, Galileo, Dialogues Concerning Two New Sciences, trad. H. Crew y A. de Salvio, Evanston, III, Chicago, 1946.
21. García J.I., Gelman O., Fuentes J., Optimal Strategies for dam construction under the flood risk, Proceedings of the IASTED International Symposium QUALITY CONTROL AND REALIZABILITY held at the University of California, Los Angeles, California, USA, June, 1987.
22. Gelman O., Formalization of mathematical modelling processes as one of the ways of building the general system theory, Problems of Logic and Methodology of General System Theory, Tbilisi, 1967, pp 25-29.

23. Gelman O., La problemática de los desastres urbanos bajo el enfoque interdisciplinario, Encuentro de expertos sobre urbanismo, UNAM, sept., 1987, (En publicación).
24. Gelman O., Metodología de la Ciencia e Ingeniería de Sistemas. Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yuc., oct., 1978.
25. Gelman O., Lavrenchuk, N.B., Specifics of Analysis of Scientific Theories within the Framework, Philosophical questions of logical analysis of Scientific knowledge, Armenian Academy of Sciences Publishing Houses Yereva, 1974 ISSUE 3, pp 137-149.
26. Gelman O., Lavrenchuk, N.B., To the question of building a theory of cognitive activity, All Union Institute of Scientific Information No. 5655-73, 1972, pp 16.
27. Gelman O., Macías S., Aspectos Metodológicos de la elaboración de modelos en el pronóstico de fenómenos destructivos, Boletín IMPOS, año XII, núm. 68, México, oct-nov-dic, 1982.
28. Gelman O., Negroe, G., Determinación de las necesidades de estudio que tiene SAHOP, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, oct., 1980.
29. Gelman O., Negroe, G., Papel de la planeación en el proceso de conducción, Boletín IMPOS, año XI, no. 61, ene-feb-mar, 1981, pp 1-17.
30. Goguen, J., Objects, Int, J, General Systems, 1975, Vol 1 pp 237-243.
31. Gramsci, A., Introducción a la filosofía de la praxis, escritos, Premia editora, México, 1985.
32. Halmos, Paul, R., Naive Set theory, D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, N.J., 1960.
33. Hegel, G.W.F., Fenomenología del Espíritu, Fondo de Cultura Económica, México, 1960.
34. Heidegger, La cosa, Revista de la Universidad Nacional de Córdoba, XI, 1953, pp 3-20.
35. Kalman-Falb-Arbib, Topics in Mathematical System Theory, Mc Graw Hill, N.Y., 1969.
36. Kant, Manuel, Crítica de la Razón Pura, Ed. Porrúa, México, 1977.

37. Klir, G.J., An Approach to General System Theory, Van Nostrand Reinhold Co., 1969.
38. Klir, G.J., Architecture of systems problem solving, Plenum Press, New York, 1984.
39. Kosik, K., Dialéctica de lo Concreto, Ed. Grijalbo, México 1967.
40. Kuhn, T.S., La Estructura de las Revoluciones Científicas, Fondo de Cultura Económica, México, 1971a
41. Kuhn, T.S., Paradigms and some misinterpretations of Science, Dudley Shapere (Ed), The macmillan Company, 1971b, pp 83-90.
42. Lange, O., Los todos y las partes, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.
43. Lefebvre, V.A., The Structure of Awareness, Sage Publications, Beverly Hills, 1977.
44. Longo, G., Manual de Economía Política, Comunicación, Madrid, 1973.
45. Margenau, H., The Nature of Physical Reality: A philosophy of modern physics, Mc Graw Hill Book Co., 1950.
46. Maruyama, M., Paradigms and Communication Technological Forecasting and Social Change, Vol. 6, 1974, pp 3-32.
47. Mesarovic, M.D., Foundations for a general system theory, Views on General systems theory, Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology, Wiley, New York, 1964.
48. Nagel, E., La lógica sin metafísica, Ed. Tecnos, Madrid, 1974.
49. Platon, Dialogos, Ed. Porrúa, México, 1975.
50. Poincaré, H., Valeur Science, Flammarion, París, 1905, en Filosofía de la Ciencia, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1981.
51. Popper, K., Epistemología sin sujeto cognoscente, Actas del II Congreso Internacional de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia, eds. B. Van Roosetlsaar y J.F.Staal, Amsterdam, 1968, pp 333-73.

52. Popper, Karl, La l6gica de la Investigaci6n Científica, Ed. Technos, Madrid, 1982.
53. Rapoport, A., Conceptualization of a System as a Mathematical Model, Operation Research and the Social Sciences, London and New York, Tavistock Publications, 1966.
54. Rapoport, A., Methodology in the Physical Biological, and Social Sciences, General Systems Yearbook, Vol. XIV, 1969 pp 179-186.
55. Rapoport, A., Modern System Theory, General Systems, Vol. XV, 1970, pp 15-25.
56. Rapoport, A., The Search for Simplicity, Main Currents in Modern thought, Vol. 28, No. 3, 1972, pp 79-84.
57. Rescher, Nicholas, Sistematizaci6n cognoscitiva, siglo veintiuno, editores, 1981, México.
58. Sachs, W., Man, Design, Machine, PhD Thesis, Busch Center, Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, 1976.
59. Sadovsky, V.N., Paradoxes of systems thinking
60. Sánchez, G., La organizaci6n y su diagnóstico bajo el enfoque sistémico: un caso práctico, Tesis de Doctorado en Administraci6n (Organizaciones), Fac. de Cont. y Admon, UNAM, abril, 1986.
61. Schedrovitzky, G.P., Concerning the analysis of initial principles and conceptions of formal logic, General Systems, Vol. XIII, 1968, pp 21-33.
62. Schedrovitzky, G.P., Methodological Problems of System Research, General Systems Yearbook, Vol. XI, 1966, pp27-53.
63. Singer, E.A., (Jr), Experience and Reflection, C. West Churchman (ed), University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1959.
64. Sommerfeld, A., Mechanics, Academic Press, New York, 1975.
65. Toulmin, S., Ideals of Natural Order, Philosophical Problems of Natural Science, Dualeay Shapere (ed) The Macmillan Co., 1971, pp 110-123.

66. Wiener, N., Cybernetics, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.
67. Zadeh, L., Doser, Ch., Linear System Theory, Mc Graw Hill Co., New York, 1963.
68. Zadeh, L., System Theory, Mc Graw Hill Co., New York, 1969
69. Zeigler, B., Theory of Modelling and Simulation, Wiley, N.Y., 1976.