

131



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ECONOMIA

**ACUMULACION Y REPRODUCCION DE CAPITAL Y
CAMPO ENTROPICO SOCIAL**

(Un enfoque de Desequilibrio en las Formaciones Sociales
Capitalistas a través del Análisis de Sistemas Ergódicos
y Antiergódicos).

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN ECONOMIA
P R E S E N T A**

JORGE ANTONIO ZOROLA CHACEL

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

CONTENIDO	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I: LA CUESTION METODOLOGICA: LA ANALOGIA COMO FORMA DE VALIDA - CION LOGICA EN LA DEMOSTRACION DE - HIPOTESIS.	11
A) Hipótesis, Analogía y Demostración	13
a) La Hipótesis	13
i) Desarrollo de la Hipótesis	18
ii) Comprobación de la Hipótesis	20
b) La Analogía	21
i) Caracteres Generales de la - Analogía	21
ii) Grado de probabilidad de las conclusiones por Analogía	28
c) La Demostración	31
i) Estructura de la Demostración	32
B) Comentarios respecto a los Objetivos de este trabajo.	39
a) Hipótesis	40
b) Analogía	44
c) Demostración	49

CONTENIDO	PAGINA
CAPITULO II: SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA; NEXO ANALOGICO CON EL MATERIALISMO - DIALECTICO E HISTORICO Y ALGUNAS CIEN- CIAS PARTICULARES	53
A) Conceptualización de Termodinámica y de los Principios Primero y Segundo de la - misma	54
a) Definición de Termodinámica y algu- nos conceptos importantes de la misma	54
b) Primer Principio de la Termodinámica	57
c) Introducción al Segundo Principio de la Termodinámica	61
d) Segundo Principio de la Termodinámica	62
i) Transformaciones reversibles e - irreversibles	66
ii) El ciclo de Carnot	70
iii) Variación de la Entropía en los Procesos Irreversibles	72
e) Entropía y probabilidad Termodinámica	75
f) Reversibilidad y producción de trabajo	78
B) Correspondencia analógica entre el Segundo Principio de la Termodinámica y el Materia- lismo Dialéctico e Histórico	79

CONTENIDO

PAGINA

C)	Expresión del Segundo Principio de la Termodinámica en la Química, la Biología, la Psicología y la Cibernética.	120
a)	Química	120
	i) Interpretación molecular de la Entropía	121
	ii) Interpretación molecular del Equilibrio	126
	iii) Cambios de Entropía en las reacciones químicas	128
b)	Biología	129
c)	Psicología	136
d)	Cibernética	147
D)	Comentarios al Capítulo	154

CAPITULO III:	SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA; NEXO ANALOGICO CON LA "TEORIA DE LA - REGULACION Y ESTABILIDAD DE LOS SISTEMAS ACOPLADOS"	159
A)	Termodinámica y noción de Sistema y Elemento Activo	159
B)	Termodinámica y noción de Transformación y Acoplamiento de Elementos Activos	160

CONTENIDO

PAGINA

- C) Termodinámica y nociones de Estructura, Modo de Acción y Desarrollo de un Sistema. 163
- D) Termodinámica y nociones de Regulación, Sistema Regulado, Sistema Regulador, Retroalimentación, Norma, Control y Perturbación. 168
- E) Termodinámica y noción de Dinámica de los Procesos de Regulación. 173
- F) Termodinámica y noción de Proceso Ergódico, Dominio de Ergodicidad, Duración de la Ergodicidad: Autoconducción de la Ergodicidad y Procesos Anti-ergódicos. 182
- G) Comentarios. 191

CAPITULO IV: PROCESO ECONOMICO, ACUMULACION Y REPRODUCCION DE CAPITAL Y RELACION ANALOGICA CON LOS PROCESOS ERGODICOS, ANTIERGODICOS Y EL SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA. 194

- A) Relación Analógica entre Proceso Económico y el Segundo Principio de la Termodinámica. 196

CONTENIDO

PAGINA

a)	Proceso Económico	196
b)	Proceso Económico y Teoría de <u>Sis</u> temas.	199
c)	Proceso Económico y Entropía	207
B)	Acumulación y Reproducción de Capital; Relación Analógica con los Procesos <u>Er</u> gódicos, Antiergódicos y Entropía.	213
a)	Acumulación y Reproducción de <u>Ca</u> pital y relaciones de Equilibrio y - Desequilibrio.	216
b)	Acumulación y Reproducción de <u>Ca</u> pital y Procesos Ergódicos y Anti - ergódicos.	247
c)	Acumulación y Reproducción de <u>Ca</u> pital y Entropía.	264
d)	Matriz de Insumo-Producto, Repro- ducción Ampliada y Medida de la - Entropía; Esbozo de la Construcción de un Modelo.	277
C)	Formaciones Sociales Capitalistas, <u>Siste</u> mas Antiergódicos y Campo Entrópico - Social.	298
a)	Formaciones Sociales Capitalistas.	298

CONTENIDO	PAGINA
b) Expresión de la Antiergodicidad y la Entropía como Campo Entrópico Social en las Formaciones Sociales Capitalistas.	303
CONCLUSIONES	320
BIBLIOGRAFIA	337
ANEXO I:	
A) SISTEMAS	344
a) Introducción	344
b) Elemento Activo	344
c) El Acoplamiento de Elementos Activos	348
d) El Sistema de Elementos Activos y su Estructura	349
e) Sistemas de Orden Mayor	350
f) El Modo de Acción de un Sistema	352
g) El Proceso de Desarrollo de un Sistema	354
B) REGULACION	360
a) Introducción	360
b) Fórmula Principal de la Teoría de la Regulación	360

CONTENIDO

PAGINA

c) La Regulación y el Control. Tipos de Control	363
d) Operadores Lineales.	366
C) ESTABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE DESARROLLO	371
a) La Interpretación Dinámica de la Fórmula Fundamental de la Teoría de la Regulación	371
D) PROCESOS ERGODICOS AUTOCONDU- CIDOS	381
BIBLIOGRAFIA	397

INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis se inició pretendiendo vincular, a través de la analogía, elementos categoriales de la Economía, la Cibernética y la Física, en función de un objetivo: el desequilibrio como forma de expresión del movimiento, sea éste del tipo que fuere: físico, químico, biológico, económico, etc. Conviene aclarar a este respecto, que si bien el desequilibrio se puede tratar teóricamente de manera general o universal, la forma concreta que revista el movimiento implica formas especiales de desequilibrio; causas y efectos particulares, y por ende, un tratamiento especial para conocer las manifestaciones que, cualitativa o cuantitativamente revista el fenómeno de estudio. De esta manera, se presentaron dos problemas previos a la elaboración de este trabajo: el primero, relativo a la identificación que en lo universal tiene el movimiento y el desequilibrio; y el segundo, concerniente al tipo especial de movimiento y de desequilibrio que guarda lo económico, y de éste, lo relativo a la acumulación y la reproducción en las Formaciones Sociales Capitalistas.

Así pues, conforme se fueron abordando ambos problemas se fue clarificando el objetivo a perseguir por el presente estudio: expresar los factores de desequilibrio que inciden en la acumulación y la reproducción de capital, y ver los nexos analógicos con el principio

físico del desequilibrio: la entropía, y de ahí, a través de las nociones de "sistema" (como elemento analógico), de "ergodicidad" y "anti-ergodicidad", inferir las trayectorias que la acumulación y la reproducción de capital experimentan, y su grado de equilibrio y de desequilibrio, de reversibilidad y de irreversibilidad ante perturbaciones generadas por su peculiaridad capitalista.

Así, la entropía, como reflejo del desequilibrio nacido en los procesos reales, aunada a la situación de medida del grado de cambio de una forma de energía a otra a consecuencia de perturbaciones del medio ambiente (según se podrá apreciar en los procesos físicos, químicos y biológicos), expresa también la probabilidad que tiene un proceso de conservarse en un estado de cuasiequilibrio. Es bajo esta concepción como se puede aplicar la noción de entropía a cualquier proceso o sistema real.

De esta manera, se hablará de "campo entrópico social" en su connotación general, como se verá en el transcurso del estudio, para referirse a factores que tratados a través de la teoría de sistemas pueden interconectarse (guardando las diferencias cualitativas y cuantitativas respectivas), entre una rama del campo de la física: la termodinámica, y el campo de lo social, de tal modo que amalgamados puedan expresar en forma lógica un proceso de desequilibrio y de irreversibilidad parcial o total en el ámbito de lo social,

que para este trabajo se liga con el proceso de acumulación y reproducción de capital y sus propios factores y parámetros por un lado "entrópicos", de desequilibrio o irreversibles, y por otro "anti-entropicos" o de desequilibrio acumulativo, para las Formaciones Sociales Capitalistas.

El interés personal que reviste este trabajo, consiste en comprender la potencia que la noción de entropía (como expresión del grado de desequilibrio existente en el desarrollo de un fenómeno), tiene en el estudio del movimiento de lo social y, de allí, en el económico como una forma particular de aquél. Con este fin se ha dirigido la investigación, y se puede adelantar que, en efecto, hay una relación que comprueba que no es ilógico hablar de procesos entrópicos en el campo social. Aún más, se puede aprovechar la ligazón entre probabilidad y entropía para analizar, en la esfera económica, bien modelos econométricos, bien problemas enfocados a la optimización de recursos, relaciones de insumo-producto, etc., que concebidos todos estos como "imágenes" de la realidad, se enfocan hacia la búsqueda de situaciones de equilibrio o las más cercanas a él, trátase de agregados macroeconómicos, matrices de requerimientos directos e indirectos, relaciones de programación lineal, etc. Ahora bien: el tema de investigación en este trabajo versa sobre la entropía y la relación que en el campo -

de lo social tiene con la Formación Social Capitalista a través - de la acumulación y la reproducción del capital. Es por este motivo que no se enfoca en lo particular a lo citado líneas arriba, pero sí pretende esbozar un modelo referido a la acumulación y la reproducción de capital a través de plantear la idea de representar una matriz de probabilidades que permita concebir el grado de desequilibrio global que vía esa acumulación y reproducción se da en la Formación Social Capitalista. Esto último requiere como paso intermedio representar una matriz similar para lo que se conceptúa como modo de producción dominante y modo de producción dominado, sus interrelaciones y su encuadre en la Formación Social Capitalista.

El trabajo que se presenta consta de cuatro capítulos y un anexo. Se debe expresar que la intención del autor no fue el - realizar un trabajo tan voluminoso como resultó, ni de utilizar textualmente en párrafos, o parágrafos enteros, a los autores - que sirvieron como fuentes de información. Sin embargo, si se hizo fue porque se consideró necesario para facilitar la secuencia de los razonamientos y las conclusiones. Hecha esta acotación, se pasará a explicar la organización y el contenido capítulo lar:

El primer capítulo se centra en una exposición de la analogía como forma lógica a utilizar para validar la demostración de hipótesis. En este caso, hecho el supuesto o la hipótesis de que existe una relación entre la entropía, los sistemas antienergéticos y la economía, el primer paso es analizar la cuestión del método, es decir, si hay alguna manera de atacar el problema de la relación sin caer en el mecanicismo. Lo anterior implica realizar una breve digresión sobre lo que significan hipótesis, analogía, demostración y demostración por analogía y, a su luz, constatarlo con el cuerpo de hipótesis que estructuran este trabajo: a) Que existe un nexo entre el Segundo Principio de la Termodinámica (entropía) y el Materialismo Dialéctico; b) Que existe un nexo entre la entropía y el Materialismo Histórico; c) Que existe un nexo entre la entropía y los sistemas de regulación y de estos, con los procesos antienergéticos; d) Que existe un nexo entre el Segundo Principio de la Termodinámica y los procesos energéticos y antienergéticos, con el proceso económico y la acumulación y la reproducción, y en particular con el Proceso Económico y la acumulación y la reproducción capitalistas. El final del capítulo se aboca a este aspecto de constatación, lo que constituye su conclusión y abre el paso a los capítulos siguientes.

El segundo capítulo tiene como objetivo, apoyado por los resultata

dos metodológicos dados en el capítulo anterior, analizar el nexo entre el Segundo Principio de la Termodinámica con el Materialismo Dialéctico, con el Materialismo Histórico y con algunas ciencias particulares, como son la Química, la Biología, la Psicología y la Cibernética. Así, se prueba que existe cierto grado de probabilidad, de certidumbre, en la relación analógica propuesta como hipótesis y la expresión que reviste la entropía en diferentes campos de la realidad; de ahí que se toquen las ciencias particulares citadas. De esta manera, el contenido del capítulo trata sobre la conceptualización de la Termodinámica y de los Principios Primero y Segundo de la misma; sobre los caracteres que unen a la entropía comúnmente con el Materialismo Dialéctico y con el Materialismo Histórico, considerado este último como la expresión del movimiento social, lo que implica tocar sus leyes y sus categorías principales y su conexión entre ambos (Materialismo Dialéctico y Materialismo Histórico) y su interconexión con la entropía. De aquí, yendo de lo general a lo particular, se tocan la forma y el contenido que reviste la entropía en las ciencias citadas, lo que a su vez permite inducir una relación entre la Economía y la entropía. Se concluye que la forma común de particularizar al Segundo Principio de la Termodinámica en cada ciencia reviste el carácter de probabilidad, como posibilidad de medir el desequilibrio o el cuasiequilibrio en los procesos reales. A la vez, conforme la materia de estudio de cada ciencia se va complejizando, la entropía

de los procesos a explicar encuentra en el marco conceptual de la Cibernética un instrumento adecuado para reforzar la clarificación de aquella.

Así, el capítulo tercero se aboca al análisis del nexo analógico entre el Segundo Principio de la Termodinámica y la Teoría de la Regulación y Estabilidad de los Sistemas Acoplados, o más brevemente, Cibernética. El desarrollo de este capítulo implica ubicar los nexos de la entropía con las nociones cibernéticas de elemento activo, transformación y acoplamiento de elementos activos, estructura, modo de acción y desarrollo de un sistema, regulación, norma, control, perturbación, dinámica de los procesos de regulación; procesos ergódicos, dominio y desarrollo de la ergodicidad, autoconducción de la ergodicidad, y procesos antiergódicos. De esta manera se solventa el ciclo entropía-teoría de sistemas y se permite, con el bagaje de información acumulado hasta este punto del estudio, pasar al análisis de las relaciones existentes entre el proceso económico y la acumulación y la reproducción capitalistas, y la entropía y los procesos antiergódicos.

En efecto, en el capítulo cuarto, a fin de validar la hipótesis de que hay una relación analógica entre la acumulación y la reproducción de capital y la entropía, se expone la fase proceso económico-entropía como forma metodológica que permita vincular los nexos comunes entre ambas partes y "filtre" por deducción, conclusiones -

que puedan utilizarse para el caso particular de la acumulación y la reproducción de capital-entropía. En este sentido, el contenido del capítulo lo constituyen: una parte enfocada al estudio de la relación analógica entre el proceso económico y el Segundo Principio de la Termodinámica, la cual incluye el análisis del proceso económico y su relación con la teoría de sistemas; una parte que aborda la acumulación y la reproducción de capital y su relación analógica con los procesos ergódicos, anti-ergódicos y entropía, lo cual implica: un análisis teórico de la acumulación y la reproducción de capital y de las condiciones de equilibrio y desequilibrio que se dan en este proceso, así como la relación entre acumulación y reproducción de capital-entropía-procesos ergódicos y anti-ergódicos. La parte final del capítulo se encarga de esbozar la construcción de un modelo que plantee medir la entropía a través de una matriz de insumo-producto de balance ampliada; asimismo, se plantea la cuestión de la relación entre Formaciones Sociales Capitalistas, sistemas anti-ergódicos y campo entrópico social. Se puede considerar esta última parte del capítulo como conclusión de todo el trabajo, ya que en ella se integra la labor deductiva e inductiva que implicó su realización, desde la búsqueda de una forma lógica de validación de las hipótesis y su demostración (la analogía con lo general, o sea, el Materialismo Dialéctico y el Materialismo Histórico, y con lo particular a través de la analogía interciencias) hasta, inductivamente, responder en qué grado teórico y práctico es posible conciliar una relación entre la Economía, la Cibernética y

el Segundo Principio Termodinámico sin caer en una posición mecanicista, lo cual constituye como se ha expresado párrafos arriba el objetivo de esta tesis.

En la parte dedicada a conclusiones se expresan las más relevantes, en el orden metodológico y teórico, para el estudio. Así también se debe mencionar que cada capítulo contiene conclusiones particulares conforme al tema que aborda, las que a su vez se encuentran interconectadas y van permitiendo, por este hecho, vincular los pasos y los logros del análisis.

El anexo que se presenta se ha incluido en virtud de facilitar la consulta de temas que en el cuerpo de la tesis fueron insuficientemente tratados, o bien, de términos que no fueran comprensibles sin una lectura preparatoria y comprende partes vinculadas con el Capítulo Tercero, y que son: sistemas, regulación, estabilidad en los sistemas de desarrollo, y procesos ergódicos autoconducidos.

Por último, el autor desea hacer patente su reconocimiento a todas las personas que de alguna manera contribuyeron en la supervisión de este trabajo, como fueron: el Doctor Lenin Rojas Olivas, el Lic. Julio Cancino y León, la Lic. María del Carmen González Hernández, la Profesora Mercedes Paredes, el Lic, Jonás Núñez

Benítez, y el Lic. Carlos Hernández Ramírez.

A la Doctora María de los Angeles Espejel Sánchez, por su impulso, paciencia y ayuda de siempre, mi más sincero afecto y agradecimiento.

C A P I T U L O I

LA CUESTION METODOLOGICA: LA ANALOGIA COMO
FORMA DE VALIDACION LOGICA EN LA DEMOSTRA -
CION DE HIPOTESIS .

El abrir esta tesis con algunas reflexiones de método lo considero vital para el desarrollo de la misma, ya que permite centrar la discusión que se suscite en el entorno del marco categorial en que se genera cada hipótesis de trabajo y sus interconexiones. El punto de referencia desde el cual validar la certidumbre en los razonamientos que conforman cada hipótesis y su desarrollo, lo constituye la analogía.

La analogía es, pues, la guía metodológica por la cual se intentará validar las demostraciones de este trabajo y a la vez refutar lógicamente cierto umbral mecanicista que puede surgir por el hecho de tocar categorías económicas y principios de la física e intentar conectarlos. Una transposición mecanicista no es el caso para este trabajo, ya que no se pretende concluir una "explicación física de la Economía", cosa por demás pueril aunque, no obstante, se ha realizado en varias ramas de la economía* y por diversos -

* Y no solo como transposición física, sino biológica en el "vitalismo"; por ejemplo: psicológico en la teoría marginalista, cibernética --

teóricos de la misma a los que han refutado desde Marx, Engels y Lenin hasta Lange, Mandel, Amín, entre otros en nuestros días. — La razón es clara: en tanto se pueda desvincular a la historia humana de sus condicionantes de desarrollo; en tanto se tome una posición ideológica apologética del sistema capitalista, cada ciencia particular natural "proveerá" elementos, no importa como se trastorquen, para articular una defensa "filosófica" de las condiciones del sistema, que no es otra que una defensa de los intereses de la clase dominante, que en la esfera económica son las relaciones sociales de producción capitalistas. Así, entropía, leyes de la gravitación de Newton, determinismo biológico, vitalismo, teoría Darwinista de la evolución de las especies, etc., servirán a los fines de la filosofía burguesa en su explicación del ser social.

De lo anterior se puede inferir lo que el mecanicismo significa: transponer categorías de disciplinas diferentes - que explican diferentes campos de expresión de la materia y su movimiento - - cualificándolas de manera similar, sin ver precisamente la diferencia cualitativa que entraña cada categoría en cada ciencia y su expresión cuantitativa. Metodológicamente esto implica un error ló-

como un conjunto de "enlaces", de circuitos (en este caso el ser humano en su actuar productivo), que conformados en un orden determinado, programados, se traducen en ciertas salidas de acuerdo al "programa" (continuación de las condiciones de explotación) etc.

gico y en lo real conduce a resultados no congruentes, falsos, que trasladados "a foriori" al cuerpo de hipótesis que se intenta validar, se resuelve en un círculo vicioso cada vez más amplio, lo que debilita lógicamente no sólo la construcción del bloque de hipótesis, sino la teoría que intenta conjugarlas y explicar la realidad, sea - parcial o total.

Así pues, la forma lógica que permite validar las proposiciones e hipótesis que configuran este trabajo es la analogía. A través de ella se podrá estar en condiciones de hablar en términos - no "mecanicistas". Por este motivo se considera pertinente exponer primero qué es hipótesis, analogía y demostración⁽¹⁾ y comentar después la no contradicción lógica y el no "mecanicismo" de los planteamientos a desarrollar en esta tesis.

A) Hipótesis, Analogía y Demostración.

a) La Hipótesis.

"Correspondiendo al movimiento de la naturaleza y la vida social, y reflejándolo de cierta manera, la investigación científ-

(1) Para ilustrar esto se cita a Gorski, D.P. y Tavants P.V. en su libro "Lógica" Capítulos XII, XIII y XIV en especial, Ed. Grijalvo 1968 y a De Gortari, E.I., en su libro "Introducción a la Lógica Dialéctica", Capítulos II y IX en particular, Ed. F.C.E., 1959.

fica puede caracterizarse como un proceso en el cual se parte de ciertos supuestos que son las hipótesis, para obtener consecuencias por medio de la experimentación y del desarrollo teórico. Los nuevos conocimientos adquiridos y las hipótesis se encuentran conectados por una relación de condicionante a condicionado, en sentido recíproco; pues tanto resulta condicionada la consecuencia por la hipótesis, como esta es determinada a su vez por la consecuencia, dando lugar entonces a una hipótesis más precisa y desde un punto de vista más elevado⁽²⁾.

La suposición es hipótesis, en el sentido lógico de la palabra, si reúne las siguientes condiciones:

1. No ha de hallarse en contradicción con ningún dato de la ciencia. Por su contenido, no ha de contradecir la concepción científica del mundo, ni los conocimientos científicos ciertos existentes cuando se formula la hipótesis.
2. Ha de ser suficiente para poder explicar todos los hechos que motivan su formulación.
3. Ha de explicar mejor que ninguna otra suposición los fenómenos y hechos a que se refiere.

(2) De Gortari, Elí, Op. cit, pp. 27 y 28

4. Es, por tanto, evidente que no puede considerarse la hipótesis como una suposición fantástica, arbitraria y quimérica. - Sobre un problema cualquiera de la ciencia pueden idearse incontables suposiciones que dan alguna que otra explicación si se consideran al margen del conjunto de conocimientos científicos de la época. Pero esto no basta, ni mucho menos. La hipótesis ha de articularse orgánicamente en la rama de la ciencia en que ha de ser aplicada.

Lo importante es que la hipótesis explique no una parte de los hechos o fenómenos que necesiten ser aclarados, sino todo su conjunto. Verdad es que suele ser difícil cumplir prácticamente este requisito. Ello no obsta, sin embargo, para que siga siendo absolutamente necesaria esta exigencia de plenitud en la explicación.

Es además, de importancia extraordinaria, que la hipótesis no sólo explique los fenómenos a que se refiere, sino que lo haga de la manera más completa y exacta.

Cuando se dan estas tres condiciones, la suposición adquiere el sentido de auténtica hipótesis científica, y una vez que se ha comprobado debidamente, pasa a ser un importante factor del progreso de la ciencia.

En la ciencia se llama hipótesis a la suposición que se hace -
respecto a un hecho que no puede observarse directamente o -
acerca de un orden regular conjeturado, no observado directa-
mente, que explica un conjunto de fenómenos conocidos por la
experiencia.

La hipótesis surge por lo común como inferencia más o me--
nos probable de hechos insuficientes para que pueda ser admi-
tida como verdaderamente cierta. *

Frecuentemente la fase inicial de la hipótesis viene dada por -
la analogía. Al observar que dos grupos de fenómenos poseen
rasgos semejantes o idénticos y sabiendo qué causa origina --
uno de dichos grupos de fenómenos, se supone por analogía --
que el otro grupo de fenómenos puede ser debido a la misma
causa.

A pesar de que la hipótesis constituye sólo una explicación su
puesta de hechos conocidos, posee gran importancia para el -
progreso del saber. Obtenida la hipótesis, pueden inferirse -
de ella consecuencias relativas a la existencia de fenómenos -
y leyes que nos son aún desconocidas, y esto determina el --

* Subrayado mío.

sentido de las subsiguientes investigaciones, tanto en el campo de la observación como en el de la experimentación. De esta suerte, la hipótesis pasa a ser un importante medio de cognición científica, una forma del movimiento que va de lo conocido a lo desconocido. Partiendo de este hecho subrayaba Engels en su "Dialéctica de la Naturaleza" que la hipótesis constituye "una forma de desarrollo de la ciencia natural".

Las hipótesis no se aplican sólo en las ciencias naturales, sino también en las históricas. Las magnas teorías que en el momento actual sirven de fundamento a todo el saber científico, en muchos casos empezaron siendo formuladas como hipótesis. Puede considerarse como ejemplo de estas hipótesis la teórica del proceso histórico debida a Marx⁽³⁾.

"Las hipótesis científicas representan, así, las posibles conexiones entre los hechos conocidos directamente en los experimentos. Su cimiento está constituido por conocimientos ya comprobados experimentalmente y, por lo tanto, su base se encuentra asentada sólidamente en las manifestaciones de la existencia objetiva. En cambio el cuerpo de hipótesis (es -

(3) Gorski, Tavants; Op. cit. p.p. 241 - 244.

decir, la estructura de relaciones que se edifica sobre el cimiento de los hechos experimentados) es una construcción racional que debe sujetarse a la prueba del experimento, para saber si se verifican o no las conexiones elaboradas en el plano de la posibilidad. Al sujetarse al experimento, la hipótesis puede ser comprobada por completo, puede ser refutada en su integridad, o bien puede ser comprobada en parte y acusar la necesidad de ser modificada parcialmente. En general, es indispensable introducir varias modificaciones sucesivas en la hipótesis original, antes de conseguir que las conexiones formuladas como posibles representen realmente los enlaces objetivos entre los procesos explicados racionalmente por la hipótesis".⁽⁴⁾

i). Desarrollo de la hipótesis.

"Toda hipótesis está sujeta a un determinado proceso de desarrollo, en virtud del cual se puntualiza, se rectifica, se completa con nuevas suposiciones, y al final, o queda demostrada y se transforma en teoría científica o queda refutada y se sustituye por una nueva hipótesis.

(4) De Gortari... p.p. 28 y 29

"Toda hipótesis presenta en su desarrollo tres fases subsiguientes claramente diferenciadas. Consiste la primera fase en la aparición de la hipótesis fundada en unos u otros hechos y principios de la ciencia. La segunda, en el análisis de la suposición fundamental y en el estudio de las consecuencias que de ella se desprendan. La tercera fase viene dada por la comparación de los resultados obtenidos analíticamente al investigar la suposición fundamental de la hipótesis, con los datos que proporcionan la observación y la experiencia. Si dicha comparación revela que todas las consecuencias inferidas teóricamente por el análisis de la suposición fundamental se dan en la realidad, quedará demostrado que la hipótesis es probable.

"Al formular una hipótesis o al estudiarla, el razonamiento discursivo parte de una suma de hechos o fenómenos conocidos y se eleva hacia su causa supuesta, hacia la supuesta ley del desarrollo que condiciona a estos hechos o fenómenos.

"Si la hipótesis no es una lucubración artificiosa, sino una conjetura científica sólidamente argumentada y concordante con la realidad, de su suposición fundamental podrán ser inferidos analíticamente no sólo los hechos conocidos al ser formulada, sino incluso los que se descubran más tarde. Esta capacidad

de la suposición fundamental de la hipótesis, de aclarar no sólo los fenómenos anteriormente conocidos, sino también los -- que lleguen a conocerse a posteriori, constituye una condición importante para comprobar la veracidad de dicha suposición fundamental .

"Cuanto mayor sea el número de nuevos hechos que la ciencia descubra y que puedan explicarse gracias a una hipótesis, tanto mayor será el grado de probabilidad de la misma .

"El desarrollo de la hipótesis no sólo puede llevar a que se concrete y se perfeccione la suposición fundamental, sino que puede proporcionar un resultado mucho más importante, demostrando que hay que cambiar necesariamente la suposición fundamental de la hipótesis o que es necesario, incluso, desecharla, es decir, que se tiene que cambiar la hipótesis dada por otra". (5)

ii). Comprobación de la hipótesis.

"Toda hipótesis hade ser necesariamente comprobada.

"La comprobación de la hipótesis se verifica, por lo común, en

(5) Gorski, Tavants... p.p. 244 - 249

dos direcciones. Consiste la primera en sacar el mayor número posible de conclusiones que se desprendan de la suposición fundamental de la hipótesis que se acaba de formular. Si todas estas conclusiones están concordes con los datos de la observación y de la experimentación, y en ningún caso los contradicen, la hipótesis ha de considerarse probable. Su grado de probabilidad será tanto mayor cuanto más diversas y numerosas sean las deducciones obtenidas de la hipótesis dada, con formas, todas ellas, con la experiencia.

"Si la hipótesis es verdadera, su adopción lleva siempre el descubrimiento de hechos semejantes. En cambio, si la hipótesis es falsa, los hechos nuevos que se descubran no son susceptibles de ser deducidos de la suposición hipotética fundamental". (6)

b) La Analogía.

1). Caracteres generales de la analogía.

"En el lenguaje corriente e incluso en el científico se suele dar el nombre de analogía a la simple semejanza entre fenómenos. Se dice por ejemplo, que existe analogía, es decir, -

(6) Ibid, p. 249

semejanza, entre el ala de un pájaro y la aleta de un pez. -
En este mismo sentido se habla de rasgos análogos entre dos
fenómenos semejantes, por ejemplo, entre la conducta de la -
burguesía durante la revolución francesa de 1848 y durante la
revolución rusa de 1905, etc.

"Concebida en este sentido, es decir, como mera semejanza -
la analogía se explica por medio de la comparación.

"La comparación se aplica mucho tanto en el pensamiento co-
tidiano como en el científico.

"Ahora bien, por muy extendida que esté en la actividad dis-
cursiva del hombre, la comparación no constituye, de por sí,
una inferencia lógica. La comparación sólo prepara las condi-
ciones para que, basándose en ella, pueda realizarse una infe-
rencia. En lógica, se llama analogía no a la mera compara-
ción o al paralelismo existente entre dos objetos, sino a un -
determinado tipo de razonamiento.

"Se llama razonamiento por analogía al que se efectúa cuando
dos objetos tiene semejante parte de sus caracteres y de ello
se infiere que probablemente tienen semejantes los caracteres
restantes, hallados ya en un objeto, pero todavía no en el --
otro.

"Las conclusiones por analogía pertenecen a las conclusiones de probabilidad.

"El carácter probable del raciocinio depende de la índole de sus bases.

"La inferencia por analogía se apoya directamente en el hecho de que los caracteres abc coexisten en un objeto con otros -- caracteres klm, que se transfieren a un segundo objeto. Si en uno de ellos los caracteres abc se dan junto con los transferidos klm, se puede afirmar que su coexistencia es posible hablando en términos generales. Cabe, por consiguiente, preguntarse si coexisten también en otro objeto del que se ha comprobado que posee los caracteres abc.

"Sin embargo, las inferencias por analogía casi nunca se hacen sobre la única base de dicha posibilidad. En cada objeto pueden coexistir muchísimos caracteres, aparte de los abc -- que les son idénticos. Para elegir, de esta multiplicidad de caracteres, un grupo del que pueda suponerse que existe también en otro objeto se requiere un fundamento de más peso -- que la mera posibilidad abstracta de que los caracteres idénticos coexistan con los transferidos. De ahí que, además del hecho, comprobado una vez, de que coexisten los caracteres idénticos con los transferidos, sirvan de base a la analogía --

consideraciones que inducen a admitir la posibilidad abstracta de que dicha coexistencia se repita en otro objeto, y aún, que eleven el grado de probabilidad de tal coexistencia.

"En la base de las conclusiones por analogía, se encuentra siempre la suposición de que la coexistencia de los caracteres idénticos con el carácter que se transfiere, descubierta en uno de los objetos comparados, no es un hecho casual, sino regular, es decir, está condicionado por ser necesaria la conexión de dichos caracteres entre sí. Con otras palabras: la conclusión por analogía se basa en la conjetura de que la conexión de los caracteres comunes a dos objetos con los que coexisten con ellos en uno de dichos objetos, es una conexión necesaria. Admitida esta suposición, resulta plena y lógicamente necesaria la inferencia de que los dos grupos de caracteres coexisten también en el segundo objeto. Esta necesidad, empero, tiene un carácter hipotético. Si es verdad que la relación entre los caracteres idénticos para ambos objetos y los que se han descubierto en uno de éstos, es una relación necesaria, también en el segundo objeto ha de darse como necesaria dicha relación. Ha de haber en él, por tanto, caracteres que coexistan ante todo con los que son idénticos para ambos objetos. Dado que en la inferencia por analogía la conexión necesaria de los caracteres sólo se presupone, únicamente po-

drá resolverse el problema de la veracidad de dicha inferencia si se demuestra que la conexión entre los caracteres idénticos y los que se transfieren de un objeto a otro es necesaria en la realidad, y no lo es por mera suposición. De ahí que toda conclusión por analogía ha de ser comprobada, y mientras no lo sea deberá considerarse simplemente como probable.

"De lo dicho resulta evidente que en las conclusiones por analogía lo que ha de ser comprobado no es el consiguiente que se deriva de la suposición que se toma como fundamento de la analogía, sino la propia suposición. Se trata de saber si la relación entre los caracteres que en la inferencia por analogía se transfieren y los que son idénticos en los dos objetos comparados, es una relación verdaderamente necesaria o es, simplemente, fruto de un hecho casual producido en el primero de los objetos, sin probabilidades siquiera de que vuelva a repetirse. Para que en la inferencia por analogía el proceso discursivo pueda dirigirse de un objeto a otro, es necesario suponer que el objeto en el cual coexisten los caracteres que se transfieren y los que son comunes a ambos objetos, no es el único en que puede darse tal coexistencia, es necesario pensar que tal objeto representa en el pensamiento a toda una serie de objetos semejantes y quizá, incluso, a una clase --

entera, cuyos miembros (o ejemplares) se distinguen porque - en cada uno de ellos existen los caracteres transferidos en -- virtud de la analogía con los caracteres comunes a los objetos comparados.

"Únicamente si se da esta presuposición y si es razonada, la conclusión por analogía se apoya en algo más que en la posibi- lidad abstracta de que la coexistencia de caracteres observada en un caso puede repetirse en el otro.

"Puede servir de base para conjeturar que la relación entre - los caracteres klm y abc en el primer objeto (A) es necesaria, su existencia en todo un grupo de objetos al que pertenezca (A).

"En todos los casos semejantes de analogía, la idea de que la relación entre los caracteres abc del objeto (A) y los caracteres klm es necesaria, es fruto de una inducción en la cual el juicio relativo al objeto (A) pertenece a una serie de juicios - acerca de objetos homogéneos respecto a (A) del grupo a que éste pertenece.

"Ahora bien, si esto es así, el objeto (B), al cual se trans- fieren los caracteres klm en la conclusión por analogía, pertenece también al mismo grupo de objetos en que entra (A). --

El objeto (B) forma parte de él no sólo porque contiene - según la conclusión de la inferencia los caracteres klm, sino -- también porque tales caracteres (por suposición), se hallan en el objeto relacionados con abc tal como ocurre en el objeto -- (A).

"Como quiera que en las inferencias por analogía el grupo de objetos homogéneos al objeto (A) está representado solamente por uno de ellos: (A), el proceso de inferencia aparece como el paso de un objeto solo a otro también solo.

"En el momento en que se saca una conclusión por analogía, - la relación entre los caracteres abc y klm advertida ya en el primer objeto, no ha sido aún investigada. Es posible que -- sea necesaria, pero no está excluido que constituya una mera relación de coexistencia temporal, es decir, que no sea neceria. Si lo es, dondequiera que se presente abc ha de hallarse también klm. En este caso, tan pronto como se haya demostrado que la relación entre abc y klm es necesaria, la -- inferencia de que en el segundo objeto (B) existen los caracteres klm no será ya probable, sino plenamente verdadera. En cambio, si la conexión entre abc y klm hallada en el objeto - (A) y supuesta como necesaria resulta que no lo es, es decir, si se trata sólo de una relación de coexistencia casual, aun--

que en el otro objeto (B) existan los caracteres abc no habrán de existir forzosamente con ellos klm. Pueden darse accidentalmente en (B) como se han hallado en el primer objeto, (A); pero pueden faltar.

"Cabe la analogía cuando existen razones para suponer que entre abc y klm existe una relación necesaria. Ahora bien, dado que por lo común tal relación no está demostrada ni puede demostrarse mediante la propia analogía (sólo puede hacerse mediante la inducción y la deducción), las conclusiones obtenidas por analogía han de ser comprobadas.

ii). Grado de probabilidad de las conclusiones por analogía.

"El que las conclusiones obtenidas por analogía sean sólo probables, no es razón suficiente para determinar su valor cognoscitivo. Dondequiera que se trate de alguna probabilidad, surge el problema del grado que ésta alcanza, en cada caso concreto.

"Se ha visto ya que, a veces, al realizar una inferencia por analogía no se compara un objeto solo, (A), con el objeto (B), sino que (A) es concebido como miembro de un grupo de objetos homogéneos. Es obvio que, cuanto mayor sea la parte de objetos del grupo representados por (A), punto de partida para

la analogía, tanto mayor será la probabilidad de que la relación entre los caracteres abc y klm observada en todos los objetos del grupo, no sea casual, sino necesaria.

"En cambio, no tiene importancia decisiva el número de caracteres comunes a los objetos (A) y (B) que existan en el primero de dichos objetos junto con los klm. En rigor, si varios caracteres semejantes en ambos objetos son efecto de una misma causa, todos ellos han de ser considerados como un único carácter homólogo.

"Si se descubre que el objeto B, respecto al cual se saca una inferencia por analogía, posee un carácter incompatible con los caracteres klm que se le atribuyen en virtud de dicha inferencia, la semejanza de los objetos comparados A y B en lo tocante a los caracteres abc pierde toda su importancia; la analogía se revela, en este caso, completamente infundada.

"Para aumentar el grado de probabilidad de las inferencias por analogía tienen suma importancia las consideraciones que llevan a suponer que la relación entre los caracteres abc y klm no es casual. En muchos casos, a pesar de que no se ha demostrado aún que dicha relación es necesaria en el momento de realizar la inferencia por analogía, existen poderosas razones que permiten creerlo. Un sabio que haya rea-

lizado gran número de observaciones y síntesis acerca de un problema, puede prever mucho mejor que quien no se ha ocupado del problema dado si la relación existente entre los caracteres abc y klm, hallada en la realidad, es casual o necesaria. Claro es que tal suposición, como toda suposición, requiere ser comprobada; pero la comprobación se verifica por medio de auténticas demostraciones, y no recurriendo a la analogía.

"Incluso una analogía que al ser comprobada resulte errónea, puede ser de extraordinaria utilidad. En efecto, en toda analogía se concluye algo pasando de lo más conocido a lo menos conocido. Lo inferido como probable por este procedimiento ha de ser comprobado. A la conjetura sigue, pues, la comprobación capaz de justificar la analogía o demostrar su inconsistencia; pero incluso en este último caso, siempre resulta útil la necesidad sentida de comprobar la inferencia, pues como resultado de la comprobación, la esfera B queda mejor investigada de lo que era antes de advertirse la analogía. -- Gracias a ello pueden llegar a ser descubiertos, en la esfera B, propiedades y hechos antes desconocidos. *

* Subrayado mfo.

"En realidad la analogía constituye una de los grados más importantes del proceso del conocimiento científico. Ese grado, empero, no es nunca definitivo, sino que ha de ser considerado más bien como una fase inicial de investigación. Por esto la analogía adquiere sólo su plena importancia científica cuando la ciencia, partiendo de dicho grado de conocimiento y comprobándolo en la práctica, se eleva a un grado superior, al del conocimiento verdaderamente cierto". (7)

c) La Demostración.

"La conexión de las verdades científicas, necesaria para toda ciencia, es un reflejo de la conexión real, independiente de la ciencia y del pensamiento. La interdependencia de los principios científicos es un reflejo de la interdependencia de las cosas, de sus propiedades, de sus relaciones y de sus leyes.

Pero la conexión de las verdades científicas casi nunca se ve de primera vista, directa e inmediatamente. Solo un examen circunstanciado y multilateral permite averiguar si una verdad científica se halla fundamentada en las relaciones de las cosas que la condicionan.

(7) Ibid... p.p 232 - 241

"La demostración no constituye, pues, un elemento secundario del pensamiento científico, sino su nervio vital, la condición -primersima y necesaria para que una afirmación posea carácter científico. Uno de los rasgos esenciales del pensamiento científico es, precisamente, su afán de demostración. La ciencia y el pensamiento científico no toleran las afirmaciones gratuitas. Una afirmación, cualquiera que sea, sólo alcanza rango científico cuando está fundamentada.

"La fundamentación se exige siempre en todas las ciencias, -naturales y sociales; la demostración es igualmente necesaria para que se pueda admitir que una proposición está fundamentada.

i). Estructura de la demostración.

"Independientemente de su contenido, la demostración consta -siempre de 1) tesis 2) fundamentos de la demostración (argumentos) y 3) procedimiento de demostración.

1). Tesis de la demostración.

"Se llama tesis el juicio cuya veracidad o falsedad se dilucida por medio de la demostración.

"El fin de toda demostración consiste en dilucidar lo que hay de verdad o de falsedad en una tesis. La que explica la veracidad de una tesis se llama simplemente demostración; la que pone de manifiesto la falsedad de una tesis se llama refuta- -ción. Refutar una tesis significa demostrar su falsedad.

"Independientemente del grado de certidumbre subjetiva en la veracidad de lo demostrado, sólo se realizará con éxito la -operación demostrativa si la tesis que se demuestra es verdadera por su esencia. Sólo puede demostrarse satisfactoria--mente el carácter verdadero de aquello que lo es realmente, del mismo modo que sólo puede demostrarse bien la falsedad de aquello que es verdaderamente falso.

"Pero cualquiera que sea el grado de exactitud y el rigor de la demostración, el primer requisito de su posible veracidad estriba en que la tesis que se demuestra sea verdadera, es -decir, que la verdad se refleje en ella de manera fiel.

2) Fundamentos de la demostración (argumentos).

"Se tiene una demostración allí donde se ponga de manifiesto que la veracidad o la falsedad de cierta tesis se sigue neces- sariamente de la veracidad o de la falsedad de algunos prin- cipios demostrados con anterioridad y reconocidos como ver

daderos, así como del contenido -ya aclarado - de los conceptos fundamentales para la ciencia dada. Los principios en -- que se apoya la demostración y de los que se sigue con carácter necesario la veracidad de la tesis que se demuestra se -- denominan fundamentos o argumentos de la demostración.

"Los fundamentos de las demostraciones constan de principios de distintos tipos. Entre dichos fundamentos se encuentran: - principios relativos a hechos ciertos; definiciones; axiomas; principios anteriormente demostrados por la ciencia dada o - teoremas.

3) Procedimientos de demostración.

"No es posible ver de manera inmediata si la tesis que se de muestra es verdadera o si es falsa la que se refuta. A fin - de que la veracidad de la tesis que se demuestra sea convincente, es preciso indicar el fundamento verdadero que lleve - necesariamente a reconocer que es también verdadera la tesis dada.

"Casi nunca, empero, resulta suficiente el mero conocimiento de los fundamentos verdaderos que llevan al reconocimiento - de la veracidad de la tesis. Se hace indispensable mostrar - también cual es el vínculo que lleva necesariamente de la ve

racidad de los fundamentos dados a la de la tesis por ellos con
dicionada. En muchos casos, este vínculo no se ve inmediata-
mente y requiere una adecuada aclaración.

"La secuencia -o vínculo- de los fundamentos y de las conse-
cuencias que de ellos se siguen, que lleva al reconocimiento ne-
cesario de la veracidad de la tesis que se demuestra, se deno-
mina procedimiento de demostración.*

"A diferencia de sus partes componentes -tesis y fundamento-
la demostración posee sus rasgos lógicos específicos. Tanto -
la tesis como cada uno de los fundamentos constituyen juicios -
separados. La demostración, en cambio, no se reduce nunca
a un juicio separado ni a una mera suma de juicios. La de-
mostración forma siempre una conexión lógica de juicios que -
lleva a un determinado resultado lógico. Se trata siempre de
una cadena de raciocinios que tienen por premisas los funda -
mentos de la demostración y por conclusión final la tesis a -
demostrar.

"Considerando que la demostración no es un orden (del enlace
que existe entre el fundamento y la tesis) visto simplemente -
desde la base , sino que aún ha de ser hallado, una propo

* Subrayado mío.

sición científica puede ser demostrada, a la vez, de manera - más o menos compleja o simple, recargada o breve, etc. El orden, el plan de la demostración, puede ser distinto.

"La conexión de fundamentos que lleva al reconocimiento de la veracidad de la tesis demostrada no es única, ni se da junto con los propios fundamentos, sino que ha de ser descubierta. La demostración constituye, pues, un problema creador de la ciencia, el cual ha de resolverse también por procedimientos creadores.

4) Clasificación de las demostraciones según el procedimiento de demostración.

"Según el procedimiento de demostración, ésta puede ser directa o indirecta.

"La demostración directa lleva al descubrimiento de la veracidad de la tesis que se demuestra a través del examen de los fundamentos y de las conclusiones en ellos basadas. He aquí el esquema de este tipo de demostración: de los fundamentos dados (a, b ...) se siguen necesariamente las proposiciones k, l, ...; de estas últimas, se sigue necesariamente la tesis que se demuestra, p. Como quiera que son verdaderos todos los fundamentos de la demostración (a, b, ...) y -

correcta es también la concatenación lógica que lleva de a, - b ... a la proposición p a través de k, l..., la tesis que se demuestra, p, es verdadera.

"La demostración directa determina la veracidad de la tesis - que se demuestra por medio del análisis de esta misma tesis. La investigación pone de manifiesto que la tesis que se de -- muestra se sigue necesariamente de ciertas proposiciones y - como quiera que éstas son ciertas, lo es también aquélla.

"La demostración indirecta determina la veracidad de la tesis que se demuestra no examinando ésta, sino algunas otras proposiciones, las cuales se hallan concatenadas con la tesis que se demuestra de tal manera que, comprobada la falsedad de - aquéllas, si sigue necesariamente la veracidad de la tesis -- que se demuestra. Por eso en la demostración indirecta el - problema estriba en aclarar la falsedad de las proposiciones que condicionan la veracidad de la tesis objeto de demostra-- ción". (8)

Desde la perspectiva de la Cibernética, como teoría de la regulación y el control de sistemas relativamente aislados, existe lo

(8) Ibid.... p.p. 260-292.

que se denomina "analogía estructural" o "isomorfismo", que significa la posibilidad de representar en términos de "sistemas" -- (concepto que se aclarará posteriormente) el funcionamiento, el desarrollo y el movimiento de los diversos campos de la realidad que abarcan las ciencias de la naturaleza y de la sociedad. O. Lange en su "introducción a la Economía Cibernética" hace referencia a esto y es precisamente en función de esa posibilidad de expresión analógica como se tratan algunos puntos de este trabajo, sin perder de vista el encuadre cualitativo que cada noción guarda, como: entropía, formación social, reproducción de capital, etc. y tomando en consideración precisamente la superación dialéctica -- del contenido que cada categoría encierra conforme expresa el -- grado de complejización de la materia. A guisa de ejemplo, el ser humano como forma compleja de existencia de la materia encierra multitud de nexos, concatenaciones físico-químicas, biológicas y sociales que lo configuran en su historia como tal y lo condicionan en su devenir. Así, el concepto vida, p. ej., adquiere cualidades, contenidos superiores en el hombre por la serie de interrelaciones que biológicamente lo explican. La vida, pues, se ha superado dialécticamente de formas inferiores a formas superiores en el hombre y en éste, como síntesis, se encuentran contenidas tanto las formas inferiores como las de calidad superior. Generalizando, en el hombre es posible estudiar desde su -

estructura social hasta su estructura atómica, por ser el contenido de múltiples determinaciones. Los átomos que lo componen se comportan exactamente igual que los átomos separados en otro tipo de objetos; sin embargo, sus átomos y sus reacciones atómicas y moleculares, en la relación específica que conforma al hombre biológicamente, adquieren una forma y un contenido concreto, diferente en éste, que lo estructuran como tal. Parafraseando a Marx: por el conocimiento de la anatomía del hombre se conoce la anatomía del mono y por ésta, al sintetizarla dialécticamente, se comprende, se conoce más ampliamente la anatomía del hombre.

En forma similar es como se precisarán las nociones de entropía y de procesos antienergéticos en el transcurso de esta tesis: como superación en su contenido y en su forma de expresión para el campo de lo social y de éste, en la expresión económica de la acumulación y la reproducción capitalista.

B) Comentarios a Hipótesis, Analogía y Demostración - respecto a los objetivos de este trabajo.

Siguiendo la secuencia de hipótesis, analogía y demostración, expresaré lo que en mi opinión tiene de común el contenido global de las hipótesis que se plantean en este trabajo, con los conceptos expuestos en el párrafo anterior; es decir, la no contra

dicción de mis planteamientos respecto a la Lógica. Así pues -
empezaré con el rubro hipótesis. -

a) Hipótesis.

i) Las hipótesis que conforman este trabajo no se encuentran en contradicción con los datos de la ciencia en tanto que no contradicen los conocimientos ni de la física, ni del materialismo dialéctico e histórico, ni de la cibernética, ni de la economía. Por el contrario, cada hipótesis que se ha planteado encuentra su concreción tanto en la física, en la cibernética, en la economía, como en el método dialéctico, y se cimentan, en lo referente a los conocimientos que exigen de las ciencias que abordan, por hechos objetivos, independientes de las relaciones interciencias que cada hipótesis pueda hacer.

ii) En cuanto a que las hipótesis han de explicar mejor que otra suposición los fenómenos y hechos a que se refieren, dado que me permito suponer que "los fenómenos y hechos a que se refieren" no han sido supuestos previamente, la explicación de los fenómenos y hechos que entrelazan se demostrará en el transcurso de la exposición y de la discusión del trabajo (lo que implica su refutación); -----

pueden surgir "suposiciones que explicarán mejor que otras"- (el cuerpo de hipótesis de mi trabajo) el carácter no explicatorio de las precedentes, con lo cual se sentaría un buen principio de investigación.

tii) Considero que el cuerpo de hipótesis de este trabajo, o hipótesis de campo, tiene un grado de probabilidad suficiente como para ser admitidas como probablemente ciertas. Para ampliar sobre este punto será necesario tocar lo referente a la cuestión de la analogía posteriormente.

iv) Dado que "la parte inicial de las hipótesis viene dada por lo común como inferencia más o menos probable de la constatación por analogía", en este sentido es factible que lógicamente haya error probable en la trabazón analógica, -- como puede ser la referente a entropía y categorías de la dialéctica materialista e histórica, o bien entre entropía, acumulación y reproducción del capital y ergodicidad, etc. Sin embargo, como se ha visto líneas arriba, una de las ventajas de la investigación respecto a determinadas hipótesis es el avance en el conocimiento de la ligazón entre los fenómenos por refutación de hipótesis precedentes, refutación que necesariamente debe ser cierta. Mientras no haya certidum-

bre en la refutación que se haga, la hipótesis original guarda asimismo cierto grado de certidumbre, lo cual permite el -- avance de la investigación en lo que plantea, bajo reestructuración y prueba lógica de la cadena de razonamientos que mo tivarón la hipótesis original, enriqueciéndola, o enriqueciendo los razonamientos de refutación, tras lo cual puede formularse una hipótesis nueva que satisfaga los criterios de afirmación o refutación de la hipótesis original. En ambos sentidos el conocimiento real del comportamiento de los fenómenos se enriquece como afirmación o como negación de ese conocimiento y abre nuevamente paso a investigaciones en las cuales se puede considerar la veracidad o no de ciertas suposiciones, para beneficio de hipótesis nuevas.

v) Dadas "las fases que toda hipótesis presenta en su desarrollo", creo que el cuerpo de hipótesis que se plantean en el trabajo cumplen la primera fase, por cuanto se fundamentan en hechos y principios de la ciencia (no invento ni lo que es la entropía, ni la teoría de sistemas, ni las categorías del materialismo dialéctico e histórico, etc., sino que son hechos y fenómenos comprobados los que trato de enlazar en el con tenido de las hipótesis); la segunda fase del desarrollo de las hipótesis, o sea "el análisis de la suposición fundamental y -

el estudio de las consecuencias que de ella se desprenden", - se irá cumpliendo conforme transcurra la investigación o la - estructuración de cada capítulo; la tercera fase o sea "la -- comparación de los resultados obtenidos al investigar la supo_ sición fundamental de la hipótesis con los datos que proporcio_ na la observación y la experiencia", igualmente vendrá dada - por el desarrollo de los capítulos del trabajo, hasta llegar a la demostración del desequilibrio gradual de la Formación So_ cial Capitalista desde un enfoque entrópico, lo que considero es la suposición principal de este trabajo.

vi) El cuerpo de hipótesis que se plantean exige partir de he- chos conocidos y llegar por tratamiento analógico a la ley de desarrollo que condiciona el desequilibrio en la Formación -- Social Capitalista, a través del enfoque de sistemas ergódicos y anti-ergódicos.

vii) El cuerpo de hipótesis, como "construcción racional - que debe sujetarse a la prueba del experimento, para saber - si se verifican a no las conexiones elaboradas en el plano de la posibilidad", así concebido, en este trabajo consistirá en - la demostración de las analogías como prueba experimental, - lo cual conduce entre otras cosas a la demostración de la --

aplicabilidad de la teoría de sistemas en el campo de lo social; a la demostración de la aplicabilidad del segundo principio de la termodinámica y su conexión con la teoría de sistemas en el campo de lo social, específicamente en lo económico lo to cante a la acumulación y la reproducción, y de ésta, la acu-mulación y la reproducción capitalista.

viii) En cuanto a la comprobación de las hipótesis de campo de este trabajo, creo que la serie de conclusiones resultantes serán concordantes con las suposiciones implicadas. Para con-ceptuar mejor esto será necesario ampliar los rubros analogía y demostración, aunque obviamente, el producto final o sea la comprobación, dependerá del desarrollo metodológico adecuado que se lleve a cabo para cada capítulo y de que el contenido - que encierra cada uno de éstos, esté acorde con lo que se ha mencionado en los incisos previos (i al vii).

b) Analogía.

Con referencia al razonamiento por analogía, expresado líneas arriba por los autores a que me he referido, creo que del - cuerpo de hipótesis que se sustentan, se puede inferir que pa-ra cada una de ellas, a demostrar en cada capítulo, y para los en-trelazamientos o cruces de hipótesis obtenidos por conclusiones - de hipótesis previas, se cumple el rigor lógico suficiente para -

hablar propiamente de analogía. Lo anterior se puede afirmar por lo siguiente:

i) Las conclusiones que se obtengan pertenecen a conclusiones de probabilidad, en función de que sólo la investigación, en este caso la demostración lógica, puede solventar la certeza de aquéllas.

Intentaré expresar lo anterior de la siguiente manera: Supóngase que se pretende concluir que hay un nexo entre el segundo principio de la termodinámica (entropía) y la Dialéctica -- Materialista e Histórica, y he observado por investigación lo siguiente:

1) Hay caracteres comunes tanto para la entropía como -- para la Dialéctica Materialista e Histórica; esto es, que tanto una (la entropía) expresa una parte de la realidad, como -- la otra (la Dialéctica Materialista e Histórica) expresa no -- una parte, sino la totalidad real. En este sentido, si la entropía es cierta, la Dialéctica Materialista e Histórica, como método de explicación de la realidad debe contener a aquélla en la parte del todo que ubica la explicación del movimiento -- y el cambio físico, es decir, en el campo de la ciencia física y de ésta en la termodinámica en especial. Ahora bien; si la -- entropía expresa cualitativamente los cambios cuantitativos --

derivados del principio o ley de la conservación de la energía, - y éste tiene carácter universal, es presumible que la entropía se extrapole hacia las partes de la realidad en las cuales tiene acción la ley de la conservación de la energía. En consecuencia, si esta ley actúa no sólo en físico-química, sino en bio - química también, la entropía puede extrapolarse hacia ésta, y si la primera ley de la termodinámica actúa donde haya movimiento, la segunda ley o principio se extrapola con aquella.

De lo anterior, el método de explicación de la realidad (la Dialéctica Materialista e Histórica) amplía dentro de sus leyes y su cuerpo categorial el marco de la realidad a la cual se apli can sus leyes y categorías, ya que la experimentación ha demostrado que el primer principio de la termodinámica y consecuentemente el segundo, se cumplen para la física, la química y la biología. Por consiguiente, la entropía ha incrementa do su nexos con el método dialéctico. Lo que en principio era para la termodinámica, se amplía ahora hasta la biología.

El siguiente paso es el cumplimiento de la primera y segunda leyes de la termodinámica en el hombre como ente biológico y después como ente social. Como esto último, el hombre tiene una gama variada de expresión; la psicología expresa una parte del hombre específica, pero ligada a aspectos de la - realidad tanto biológica como social que le dan a esa ciencia

su esfera de acción parcial, pero no aislada de lo que se estructura como todo social.

Si, por tanto, para la psicología se experimenta que se cumplen también los principios primero y segundo de la termodinámica, se amplía asimismo el nexo entre el método que explica la realidad material y social (Materialismo Dialéctico e Histórico) con la entropía, con lo cual el cuerpo categorial del método dialéctico y las leyes del mismo se enriquecen, ya que se extiende y constata la noción de realidad.

2) Hasta aquí el nexo entre Dialéctica Materialista e -- Histórica y entropía ha sido resultado de conclusiones obtenidas de la observación y la experimentación. Como se ha hecho referencia párrafos arriba, el movimiento tiene diversas manifestaciones; la energía, en consecuencia, igualmente, y la entropía lo mismo. Lo que expresa la primera ley de la termodinámica se cumple cuantitativamente en sus diversas manifestaciones pero los resultados cuantitativos son cualificados en grado diferente según el proceso real del cual se trate. Por tanto, si la conservación de la energía y la entropía son en su contenido iguales para los fenómenos, en su forma son diferentes para los fenómenos en cuestión. Por ej., para la psicología la conservación de la energía y la entropía pueden redu-

cirse mecánicamente a expresiones termodinámicas, pero como la psicología es una ciencia que expresa un proceso de movimiento especial, la conservación de la energía y la entropía revisten formas especiales de expresión, de ahí que esencialmente puede hablarse de entropía, pero su cualidad en psicología es diferente al de la entropía en la termodinámica, ya que el fenómeno, el tipo de movimiento, es diferente.

2.1) De lo vertido hasta aquí es posible, por inducción, extrapolar y concluir que hay un nexo analógico entre la entropía y la Dialéctica Materialista e Histórica, ya que de las conclusiones anteriores se puede inferir que los caracteres comunes entre el método dialéctico y la entropía hacen probable que siga habiendo relaciones comunes entre la entropía y su extrapolación hacia otras formas de expresión de la realidad social, por ejemplo, las leyes y categorías que condicionan la historia de la sociedad. En este caso, sólo la lógica adecuada de la cadena de razonamientos que se empleen en la investigación, si se parte de hechos ciertos, constituye la demostración de la conclusión probable.

2.2) El grado de probabilidad de las conclusiones por analogía que se pretenden demostrar con las hipótesis de campo de este trabajo, depende del carácter de necesidad en las relaciones que se proponen en las hipótesis, el cual a su vez -

depende de la homogeneidad de los campos de la realidad que se estudian, es decir, que lo homogéneo viene dado por lo concreto de cada campo (existencia objetiva independiente de la conciencia, por ej., energía, regulación, acumulación de capital, ergodicidad) y esto último abarca una fracción crecientemente de la realidad. Es en este punto, en la extensión de la realidad, en la cual se cumplen las relaciones propuestas por las hipótesis, lo que amplía a mi modo de ver la certeza de las conclusiones que cada hipótesis encierra en forma individual y en sus conexiones.

La comprobación que justifica la analogía es, como se ha mencionado líneas arriba al citar a los autores, la demostración de las suposiciones, de las hipótesis. Por este motivo se retomará lo que en demostración se ha dicho para aseverar la fundamentación de las hipótesis de este trabajo.

c) Demostración.

1) Respecto a que "independientemente del grado de certidumbre subjetiva en la veracidad de lo demostrado, sólo se realizará con éxito la operación demostrativa si la tesis (o sea el juicio a dilucidar en la demostración) que se demuestra es verdadera por su esencia", estimo que la serie de categorías y leyes que subyacen enlazadamente en el cuerpo

de hipótesis de este trabajo, son esencialmente verdaderas, y sujetas a comprobación en forma independiente; por tanto, lo que se pretende lograr en el encadenamiento de hipótesis referidas a las conclusiones que por analogía surjan de ellas, es precisamente demostrar que estas últimas son verdaderas por su esencia y que se encuentran entrelazadas esencialmente en su contenido, aunque la forma o formas que representen sean diferentes en su expresión existencial.

ii) En lo tocante a que "se tiene una demostración allí - donde se ponga de manifiesto que la veracidad de cierta tesis se sigue necesariamente de la veracidad de algunos principios demostrados con anterioridad y reconocidos como verdaderos, así como del contenido de los conceptos fundamentales para la ciencia dada", creo que el cuerpo de hipótesis de este trabajo y las conclusiones que surjan de ellas y formen lo que se entiende por grupo de "tesis a demostrar" es concordante con las exigencias lógicas de demostración, ya que "las tesis a demostrar" se derivan de principios demostrados anteriormente en diversas ramas de la ciencia; demostrados objetiva, -- concretamente, a través de la utilización de los principios relativos a hechos ciertos, definiciones, axiomas y principios demostrados por la ciencia dada o teoremas (los que constitu

yen en conjunto los fundamentos de las demostraciones) y en el transcurso del trabajo (de acuerdo con cada capítulo, con cada conclusión, y con cada paso que encadene una conclusión capitular con la hipótesis a demostrar de otro capítulo, y en su conjunto) se podrán dejar ver, sobre todo en el bagaje que consolide las hipótesis y las conclusiones y niegue dentro del proceso discursivo de cada capítulo, alternativas aparentes de solución que no respondan claramente a las exigencias lógicas de la demostración.

iii) En cuanto al procedimiento de la demostración, el cuerpo de hipótesis de este trabajo al irse desarrollando, dará el o los fundamentos por los cuales se demuestran las "tesis" del mismo, en forma de razonamientos cuyas premisas son los fundamentos de la demostración y la conclusión final, la tesis a demostrar. El plan de la demostración, como se ha leído líneas arriba al citar a los autores, puede ser complejo o simple, recargado o breve, lo cual dependerá de cada capítulo en particular y de las conexiones intercapitulares en general, utilizando tanto la demostración directa como la indirecta, según las necesidades que implica cada capítulo en su desarrollo, como en su interrelación con otros capítulos.

Así pues, en cada capítulo se expondrán los conceptos o el marco conceptual que genera cada parte integrante de las - inferencias, de su fusión en hipótesis y de las conclusiones - vertidas. Posteriormente, con los elementos verdaderos que - se obtengan analógicamente, y con base en la investigación que se realice, se pretenderá interconectar y enriquecer el análisis de cada capítulo precedente, creándose así una retroalimentación intercapítulos que permita al final del desarrollo del trabajo vertir información válida que cumpla las fases del método científico.

Por tanto, la tentativa es ser lo suficientemente congruente para actuar en la búsqueda y la afirmación válida de las - conclusiones a que este trabajo pretende llegar, tanto en las partes que lo integran como en la visión global del trabajo en sí y en sus posibles nexos para futuras investigaciones.

Con esto, se estima haber resumido el método a utilizar en el transcurso del presente trabajo.

C A P I T U L O II.

SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA; NEXO ANALOGICO CON EL MATERIALISMO DIALECTICO E HISTORICO Y ALGUNAS CIENCIAS PARTICULARES.

En este capítulo se parte de la hipótesis de que existe un nexo, una relación analógica entre el segundo principio de la termodinámica y el materialismo dialéctico e histórico. Si se prueba que de los antecedentes en los cuales se ha vislumbrado una relación analógica (entropía y materialismo dialéctico e histórico) se puede estructurar un "todo" lógico del cual se puedan seguir los consecuentes, es decir, los caracteres que unen comúnmente, necesariamente, a los antecedentes, entonces es congruente hablar de que existe cierto grado de probabilidad, de certidumbre, en la proposición de lo que plantea la hipótesis.

Posteriormente, procediendo deductivamente y yendo de lo abstracto a lo concreto, será posible constatar la expresión que revisite el segundo principio de la termodinámica en diferentes campos de la realidad. Lo importante aquí es conocer el contenido que guarda la entropía (como medida del grado de desequilibrio en los procesos reales en general) en diversas manifestaciones de la materia conforme ésta se va complejizando, y la expresión que --

conforma en cada tipo de movimiento material. Así, se trata de ejemplificar la noción de entropía en la Química, la Biología, la Psicología y la Cibernética.

A) Conceptualización de la Termodinámica y de los Principios primero y segundo de la misma.*

a) Definición de Termodinámica y algunos conceptos importantes de la misma.

La Termodinámica es la ciencia que estudia las leyes de las transformaciones de la energía. Sus fundamentos son sentados en el siglo XIX cuando, debido al desarrollo de los motores térmicos como consecuencia de las necesidades que expresaba el desarrollo industrial inmerso en el desarrollo del modo de producción capitalista, se planteó la necesidad de estudiar las leyes de la transformación del calor en trabajo. Más tarde, el método de la termodinámica rebasó los límites de la termotecnia y halló amplia aplicación en varias ramas de la física, la química y otras ciencias. - No obstante, a diferencia de la física y de la química, la termodinámica no opera con tipo alguno de modelo de estructura de la -

* Fuente utilizada: Kirillin, V. A.; Sichev, V. V.; Sheindlin, A. E. Termodinámica Técnica, Editorial MIR, Moscú, 1976.

substancia y en general, no está ligada directamente con el concepto de microestructura de la materia.

El principio de estructuración de la termodinámica es simple. De base de la termodinámica sirven dos leyes empíricas fundamentales (que de ordinario se llaman principios). El primer principio de la termodinámica caracteriza la parte cuantitativa de los procesos de transformación de la energía, y el segundo principio establece la parte cualitativa (dirección) de los procesos que tienen lugar en los sistemas físicos, aunque tanto el primero como el segundo principios no se apoyan en ninguna hipótesis acerca de la estructura de la materia; esto asegura la gran generalidad de los métodos de la termodinámica.

El primer principio de la termodinámica es la expresión cuantitativa de la ley de conservación y transformación de la energía y tiene carácter general. El segundo principio se basa en la experiencia acumulada al estudiar los sistemas macroscópicos* dentro de los límites asequibles a la observación.

Algunas definiciones importantes de la termodinámica son las siguientes: Parámetros de estado: son las características que determinan las condiciones físicas concretas en que se considera a un cuerpo y, por lo tanto, definen unívocamente el estado (gaseoso, -

* El estado macroscópico de un sistema se determina por los parámetros termodinámicos: presión, temperatura, volumen específico, energía interna, etc. El estado microscópico de un sistema, se determina por el conjunto de parámetros que definen el estado de cada una de las

líquido o sólido) en que dicha substancia se encuentra. Transformación: es un conjunto de estados cambiantes del sistema que se considera. Transformaciones reversibles e irreversibles: supóngase que un sistema realiza un cambio de estados mediante -- una secuencia específica de estados intermedios y luego regresa a su estado original mediante la realización de las mismas etapas - en orden inverso. Si el ambiente exterior también regresa a su estado original, la transformación en sus dos direcciones es reversible o se encuentra en equilibrio. Si el ambiente exterior no regresa a su estado original después del ciclo, la transformación y el proceso son irreversibles o se encuentran en desequilibrio.

Cualquier proceso real, en mayor o menor grado es una ---- transformación en desequilibrio, pero en principio, para fines prácticos éste puede hacerse tan pequeño como se quiera, disminuyendo la velocidad con que se efectúa la transformación, es decir, el proceso. Por lo tanto, la transformación en equilibrio es el caso límite de una transformación en desequilibrio, cuando la velocidad de este proceso tiende a cero; por esto las transformaciones en equilibrio se llaman a veces cuasiestables. Trabajo: este concepto en termodinámica se define como cualquier cantidad de energía que fluye a través de la frontera de un sistema durante un cambio de estado y que se puede usar por completo para elevar un cuerpo en el medio exterior. Calor: es una cantidad de -- energía que fluye a través de la frontera de un sistema durante un ----- moléculas del sistema: velocidad, posición en el espacio, etc.

cambio de estado en virtud de una diferencia de temperatura entre el sistema y su medio exterior, y que fluye de un punto de mayor a un punto de menor temperatura. Capacidad calorífica: es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de un cuerpo.

b) Primer principio de la Termodinámica: ley de la conservación y transformación de la energía. Esta ley dice: la energía no se crea ni se destruye, solamente pasa de una forma a otra - en las diversas transformaciones físicas y químicas; en otros términos: la cantidad de energía de un sistema cualquiera aislado - (es decir, de un sistema termodinámico que no intercambie calor, trabajo ni sustancia con el medio circundante) se conserva invariable.

De acuerdo con la ley de la conservación y transformación de la energía, el calor que se le cede al cuerpo, concuerda con el aumento de la energía interna de este último. La energía interna del cuerpo se compone de la energía de los movimientos de traslación y rotación de las moléculas que forman el cuerpo, de la energía de las vibraciones intramoleculares, de la energía potencial de las fuerzas de cohesión entre las moléculas, de la energía intramolecular, de la energía intraatómica (es decir, de las capas electrónicas de los átomos) y de la energía intranuclear.

i). Ecuación del primer principio de la termodinámica. -

En el caso general, cuando por resultado del suministro de calor aumenta la temperatura del cuerpo y a consecuencia del aumento de su volumen se realiza trabajo exterior, el calor que se le cede al cuerpo se gasta en aumentar la energía interna U y en -- realizar el trabajo L . Esto puede expresarse por medio de la ecuación:

$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + L_{1-2}$ que constituye la expresión del primer principio de la termodinámica, donde Q_{1-2} es el calor que se le cede al cuerpo del estado 1 al estado 2; U_{1-2} es la variación de la energía interna durante esta nueva transformación y -- donde representa el trabajo realizado por el cuerpo durante la -- transformación 1-2 , que a su vez se puede representar por la ecuación $L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dv + L^*_{1-2}$, donde L^*_{1-2} representa los demás tipos de trabajo que pueda haber en la transformación (por ejemplo: trabajo eléctrico, magnético, etc.).

La relación Q_{1-2} escrita en forma diferencial, toma la forma $dQ = dU + dL$, y por unidad de masa: $dq = du + dl$. Por convención, el calor cedido al sistema será considerado positivo y el calor extraído del sistema, negativo. En cuanto a la energía interna del cuerpo (sistema), depende, para un cuerpo -- dado, únicamente de su estado. Este postulado se deduce de la ley de la conservación de la energía y no depende de la medida -

que nuestros conocimientos responden a la verdadera microestructura de la materia.

Teniendo en cuenta que la variación de la energía interna en una transformación termodinámica es igual a la diferencia entre las energías internas de los puntos inicial y final de la transformación, es decir: $\Delta U_{1-2} = U_2 - U_1$, la ecuación del primer principio de la termodinámica en su forma integral, puede escribirse: $Q_{1-2} = (U_2 - U_1) + L_{1-2}$

La energía interna es una propiedad extensiva, es decir, el valor de U es proporcional a la cantidad de sustancia G que tiene el sistema.

Para una corriente o flujo, es decir para un sistema o sistemas en los cuales la sustancia se desplaza (como un todo) en el espacio, interviene 1) el trabajo de impulsión, que se puede representar como la diferencial de la presión por el volumen $d(pv)$ 2) la velocidad para variar la energía cinética del flujo, que se puede representar por $w(dw)$ 3) el trabajo que expresa la variación de la energía potencial en el flujo, que se puede representar por $g(dh)$ 4) el trabajo técnico (se le denomina así al que se ejecuta para mover la rueda de una turbina o, si se trata de una corriente de líquido conductor eléctrico en un campo magnético transversal, transmitir su energía eléctrica a un circuito externo en virtud del efecto magnetohidrodinámico, etc) que se puede

representar por $d(l_{\text{tecn}})$ 5) el trabajo contra las fuerzas de rozamiento (l_{roz}), y teniendo en cuenta que la ecuación del primer principio, para un sistema o un conjunto de sistemas que no se desplaza es como se ha visto, en forma diferencial:

$dq = du + p(dv)$ y para un desplazamiento del sistema, de acuerdo a lo expresado líneas arriba, la ecuación del primer principio es: $dq = du + d(pv) + w(dw) + g(dh) + d l_{\text{téc.}} + d l_{\text{roz}}$, e igualando los segundos miembros de ambas ecuaciones, se obtiene:

$$p(dv) = d(pv) + w(dw) + g(dh) + d l_{\text{téc.}} + d l_{\text{roz.}}$$

Esta relación muestra que el trabajo que se gasta en impulsar al flujo $d(pv)$, en variar la energía cinética de la corriente $w(dw)$, en variar la energía potencial del flujo $g(dh)$, en vencer las fuerzas del rozamiento $d l_{\text{roz}}$ y en trabajo técnico $d l_{\text{téc.}}$, se realiza a expensas del trabajo de expansión del sistema (gas o líquido) que corre, $p(dv)$. Esto es comprensible: si el sistema que fluye (por ej: un gas) se expande (es decir, si su volumen específico v aumenta), necesariamente tiene que realizarse un trabajo, ligado al aumento de v ; la diferencial de este trabajo es siempre igual a $p(dv)$.

Esta ecuación responde a explicar que las formas o transformaciones (físicas y químicas) que conlleva a la energía de un sistema aislado (que repitiendo, es aquel sistema termodinámico que no intercambia calor con el medio circundante) se conserva inva-

riable, es decir, como suma de trabajos en un sistema fijo o bien con desplazamiento, derivándose que el aumento en una de las partes del segundo miembro de la última ecuación del primer principio, se compensa con otra u otras partes de ese miembro, manteniéndose constante la energía, expresada en calor como Q_{1-2} ó q_{1-2} (si se expresa por unidad de masa), o en trabajo que se gasta en impulsar el flujo $p(dV)$, o $p(dv)$ (si se expresa por unidad de masa), después de unificar las ecuaciones de un sistema - que se desplaza en la dimensión espacio-tiempo, con lo cual se comprueba el primer principio de la termodinámica en cuanto a la constancia de la energía o su conservación, ante transformaciones que pueden alterar el tipo de trabajo en el cual se gasta más energía, pero compensándose con otros y su resultante, nuevamente expresándola, es la conservación invariable de la energía como un todo en el o los sistemas en los cuales se efectúan las observaciones.

c) Introducción al segundo principio de la termodinámica

Se ha mencionado anteriormente que todas las transformaciones reales tienen una dirección que es posible considerarla como natural. La transformación en el sentido opuesto no sería natural, sería irreal; por ej.: los ríos, en la naturaleza, corren de las montañas al mar, jamás en el sentido opuesto. Pensar lo contrario sería grotesco. Una barra metálica aislada que inicial

mente se halle a una temperatura uniforme, no puede espontáneamente pasar a un estado con temperaturas diferentes en sus extremos.

El primer principio de la termodinámica no dice nada relacionado con esta preferencia por una dirección sobre la dirección contraria. Sólo exige que la energía del universo permanezca igual antes y después del proceso. En los cambios descritos antes, la energía del universo no se altera en absoluto; la primera ley se cumple, cualquiera que sea la dirección de la transformación.

Sería útil que un sistema tuviera una o más propiedades que cambiaran siempre en una dirección cuando el sistema sufriera una "transformación no natural". Afortunadamente existe tal propiedad: la entropía, así como otras que se desprenden de ésta. Para preparar el fundamento de la definición matemática de la entropía, se requiere ocuparse primero del estudio de las características de las transformaciones cíclicas.

d) Segundo Principio de la Termodinámica.

El proceso de expansión de un gas, en el que se realiza trabajo contra las fuerzas de la presión exterior se expresa por:

$L_{1-2}^{ap} = \int_{V_1}^{V_2} p dV$, donde V_1 y V_2 son los volúmenes de gas en los puntos inicial y final, respectivamente, del trabajo de expansión.

Para repetir de nuevo este mismo proceso de expansión del gas y volver a obtener L_{1-2}^{exp} , hay que hacer que el gas retorne al estado inicial 1, caracterizado por los parámetros p_1 y V_1 , es decir, hay que comprimirlo. En este caso el gas cumplirá -- una transformación cerrada o ciclo; de esto:

$$L_{2-1}^{comp} = \int_{V_2}^{V_1} p(dV) \quad , \text{ o lo que es lo mismo:}$$
$$L_{2-1}^{comp} = - \int_{V_1}^{V_2} p(dV) .$$

El trabajo que cede el sistema en un ciclo (denominado trabajo del ciclo) es igual a la diferencia (o suma algebraica) entre el trabajo de expansión y el trabajo de compresión. Se comprende que el camino del proceso de compresión debe elegirse de tal modo que el trabajo de compresión sea, en valor absoluto, menor -- que el trabajo de expansión; de lo contrario el trabajo del ciclo resultaría negativo, es decir, como resultado del ciclo no se producirá trabajo, sino que se gastará (por ejemplo en el caso de -- las máquinas frigoríficas). Está claro además que el proceso de compresión del gas desde la presión p_2 hasta la presión p_1 debe realizarse por un camino distinto del seguido en el proceso de expansión. En el caso contrario, el trabajo que se obtenga al expandirse el gas será igual al que se gaste en la compresión, y el trabajo total resultante de la transformación cerrada que se ha -- descrito será nulo.

Los procesos cíclicos que producen trabajo se efectúan en --

los diversos motores térmicos. Se llama motor térmico un sistema de acción continua que realiza transformaciones cerradas (ciclos) en las cuales el calor se transforma en trabajo. La sustancia a expensas de cuya variación de estado se obtiene trabajo en el ciclo, se llama agente de transformación, sustancia activa o de trabajo.

Si se integra la ecuación diferencial del primer principio de la termodinámica: $dQ = dU + dL$ para el ciclo arbitrario realizado por un agente de transformación, se obtiene:

$$\oint dQ = \oint dU + \oint dL \quad (\text{donde } \oint \text{ se denomina integral cíclica}).$$

Se recuerda que Q es el calor que desde el exterior se le cede al sistema (o que se extrae de él) y L es el trabajo que realiza el sistema (o que el sistema recibe del exterior). Como la energía interna U es función del estado y, por consiguiente, su integral a lo largo de un contorno cerrado es nula (es decir, cuando el agente de transformación vuelve al estado de partida, después de haber recorrido el ciclo, su energía interna toma el valor inicial), de aquí se obtiene.

$\oint dQ = \oint dL$; tomando $L_c = \oint dQ$, se puede escribir $Q_c = L_c$, o sea, el trabajo del ciclo L_c es igual a la cantidad de calor suministrada desde el exterior al agente de transformación. De acuerdo con el primer principio de la termodinámica, esta relación muestra que el trabajo que realiza un mo

tor es rigurosamente igual a la cantidad de calor, tomada de una fuente exterior y suministrada a la substancia de trabajo que utiliza el motor. Si fuera factible construir un motor térmico que produjera una cantidad de trabajo mayor que la cantidad de calor suministrada al agente de transformación desde la fuente exterior, esto significaría que el primer principio de la termodinámica no es justo. De esto se deduciría que podría construirse un motor térmico tal, que, en general, realizara trabajo sin que se le suministrara calor del exterior, es decir, un móvil perpetuo. Por esto, el primer principio de la termodinámica puede enunciarse también del modo siguiente: la existencia del móvil perpetuo de primera especie* es imposible.

En cuanto al calor Q_c que se transforma en trabajo, hay que señalar que en unas partes del ciclo el calor se le suministra al agente de transformación y en otras se extrae de él. La extracción de calor de la substancia activa en determinadas partes del ciclo es una condición imprescindible para que pueda realizarse el ciclo de cualquier motor térmico. Si se designa por Q_1 , el calor que se cede al agente de transformación durante el ciclo, y por Q_2 el calor que se extrae de él, también durante el ciclo, es evidente que $Q_c = Q_1 - Q_2$, y de acuerdo con la ecuación:

* Este tipo de móvil perpetuo se llama de primera especie para diferenciarlo de otro tipo de móvil perpetuo que se considerará más adelante.

$Q_c = L_c$, queda.

$$L_c = Q_1 - Q_2$$

Se introduce ahora un nuevo concepto: el de rendimiento térmico del ciclo por el cual se entiende a la razón del trabajo del ciclo respecto a la cantidad de calor suministrado al agente de transformación durante este ciclo. Designando por η_t el rendimiento térmico, de acuerdo con esta definición se obtiene:

$$\eta_t = \frac{L_c}{Q_1} \quad \text{o, lo que es lo mismo: } \eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

El rendimiento térmico caracteriza el grado de perfección de un ciclo; cuanto mayor es el valor de η_t , tanto más perfecto es el ciclo: si al agente de transformación se le suministra una misma cantidad de calor Q_1 , el ciclo cuyo rendimiento η_t sea mayor producirá más trabajo L_c .

Retomando nuevamente los conceptos de transformaciones termodinámicas reversibles e irreversibles, pero ahora con un sentido más amplio dados los conocimientos previamente acumulados, se enfocará desde esta perspectiva el camino hacia la comprensión del segundo principio de la termodinámica.

i) Transformaciones reversibles e irreversibles. -

En el ejemplo de una bola que se mueve hacia abajo en un plano inclinado, habiendo otro por el que sube la bola, se da un proceso reversible si hubiera condiciones de inexistencia de rozamiento con la superficie y de resistencia del aire. Se llaman transformaciones irreversibles las transformaciones en que al efectuar

se en sentido directo (se cede al sistema cierta cantidad de calor) e inverso (en que el sistema a su vez cede cierta cantidad de calor), el sistema no retorna a su estado inicial. Por experiencia se sabe que todas las transformaciones espontáneas naturales son irreversibles ; en la naturaleza nó existen procesos reversibles. Un ejemplo de transformación irreversible que se encuentra con frecuencia en la práctica, es el paso del calor de un cuerpo cuya temperatura es más alta a otro cuerpo cuya temperatura es más baja. La experiencia secular de la humanidad demuestra que de por sí, sin un gasto de trabajo exterior, el calor no puede pasar de un cuerpo más frío a otro más caliente.

Es importante subrayar que invertir completamente (en todos sus elementos) un proceso irreversible, es imposible, porque el retorno del sistema al estado inicial se realiza a expensas de cambios irreversibles del medio que rodea al sistema, y también tiene importancia señalar que cualquier proceso espontáneo (y, por consiguiente, irreversible) que tenga lugar en un sistema, continuará hasta que en el sistema se establezca el equilibrio.

Como demuestra la experiencia, un sistema que alcanza el equilibrio, permanece después en ese estado, es decir, pierde su capacidad de cambiar espontáneamente de estado; esto está de acuerdo con la afirmación que se ha enunciado antes acerca de que

todo proceso espontáneo es irreversible. Hay que comprender claramente que el estado de equilibrio del sistema puede conseguirse efectuando en él tanto procesos reversibles como irreversibles.

Sobre la base de lo expuesto con anterioridad no es difícil llegar a la conclusión de que un sistema sólo puede efectuar trabajo mientras no está en equilibrio.

Cualquier transformación en desequilibrio se convierte en transformación en equilibrio si la velocidad con que se efectúa tiende a cero. Al mismo tiempo, todo proceso en desequilibrio es irreversible, y todo proceso en equilibrio es reversible. En otras palabras, la causa de que los procesos reales sean irreversibles consiste en que son transformaciones en desequilibrio. En efecto, la realización infinitamente lenta (cuasiestática) del proceso hace que éste sea reversible. Cuando un proceso es infinitamente lento, el agente de transformación pasa por una sucesión continua de estados de equilibrio que pueden repetirse si el proceso transcurre en sentido contrario. Los procesos en desequilibrio, que son consecuencia de que la velocidad de transformación es finita, pasan por estados de desequilibrio del agente de transformación que no pueden repetirse en el proceso inverso.

A pesar de que los procesos reversibles son prácticamente irrealizables, la introducción del concepto de transformaciones re-

versibles resulta ser muy útil, en tanto que en una serie de procesos reales, pueden ser muy próximos a los reversibles y, en segundo lugar, el grado de irreversibilidad de un proceso real conviene considerarlo en relación con el proceso reversible hipotético.

El primer principio de la termodinámica, como ya se ha dicho, caracteriza los procesos de transformación de la energía desde el punto de vista cuantitativo. El segundo principio de la termodinámica caracteriza la parte cualitativa de estos procesos. El primer principio da todo lo necesario para hacer el balance energético de cualquier proceso. En cambio, no da ningunas indicaciones con respecto a la posibilidad de que se realice un proceso u otro. Y, sin embargo, no todos los procesos pueden efectuarse en la realidad. El segundo principio de la termodinámica, lo mismo que el primero, se enunció basándose en la experiencia y en su forma más general puede enunciarse del modo siguiente: todo proceso espontáneo real es irreversible.

Si no existieran las limitaciones que impone el segundo principio, podría construirse un motor térmico teniendo únicamente una fuente de calor. Este motor podría funcionar a expensas del enfriamiento, por ejemplo, del agua del océano. Este proceso podría continuar hasta que toda la energía interna del océano fuera convertida en trabajo. Una máquina térmica que funcionara en esta for-

ma sería un móvil perpetuo de segunda especie, el cual no contradice el primer principio de la termodinámica en función de que en este motor el trabajo no se produciría de la nada, sino a expensas de la energía interna contenida en una fuente de calor.

ii) El ciclo de Carnot.

Al investigar los principios que rigen la transformación de -- energía térmica, "calor", en energía mecánica, "trabajo", el ingeniero francés Sadi Carnot basaba sus estudios en una transformación cíclica reversible compuesta de cuatro etapas. Lo importante de sus conclusiones era que si se comparaban los rendimientos térmicos del ciclo reversible (c.r.c.) e irreversible (c.i.c.) cumplidos por un gas perfecto (que se caracteriza por cumplir la ecuación de Clapeyron, que es la definición fundamental del gas perfecto y se expresa como $p v = R T$, donde $R = \frac{p v}{T}$ es una constante para cualquier gas y por esta ecuación se relacionan unívocamente entre sí los parámetros p, v, T de los gases) entre unas mismas fuentes de calor (entendida fuente de calor como un sistema cuya temperatura es la misma en cualquiera de sus partes: esta temperatura permanece sin variación aunque haya transferencia de calor desde o hacia la fuente), cuyas temperaturas fueran T_{fc} y T_{ff} , donde $f_c =$ fuente caliente de calor y $f_f =$ fuente fría de calor, la comparación mostraba que $\eta_t^{c.i.c.} < \eta_t^{c.r.c.}$.

o sea que el rendimiento térmico del ciclo irreversible de Carnot es siempre menor que el rendimiento térmico del ciclo reversible de Carnot. En realidad, en los ciclos existen otros factores que provocan la irreversibilidad interna de los ciclos: los procesos de rozamiento, la falta de equilibrio mecánico en los elementos del motor, etc., factores que ocasionan una disminución adicional del valor del trabajo útil del ciclo ($q_1 - q_2$) y, por consiguiente, una nueva disminución del rendimiento térmico del ciclo. El rendimiento térmico del c.τ.C. viene determinado por la relación $\eta_{L\tau} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ y en su forma más general, por la definición del rendimiento térmico de un ciclo cualquiera $\eta_{L\tau} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$; de aquí se traduce que para el c.τ.C. $\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ o, lo que es lo mismo $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$, de manera que puede escribirse $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$; en el ciclo directo, que tiene por resultado la producción de trabajo, el calor Q_2 debe tener, con respecto al agente de transformación signo menos (porque el calor se extrae de dicho agente) y con respecto a la fuente fría, signo más (porque el calor Q_2 se cede a esta fuente).

Así, la última relación puede escribirse de la forma $\sum \frac{Q}{T} = 0$; en el límite, considerando ciclos infinitamente pequeños, con cambios caloríficos expresados por ΔQ , quedaría:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q^{(i)}}{T^{(i)}} = \oint \frac{dQ}{T} \quad \text{de donde se obtiene} \quad \oint \frac{dQ}{T} = 0$$

La integral de esta ecuación se llama integral de Clausius. -
La propia ecuación muestra que la integral de Clausius es nula pa
ra cualquier ciclo reversible.

Si se designa la función integrando por $dS = \frac{dQ}{T}$, en este -
caso la ecuación $\oint \frac{dQ}{T} = 0$, toma la forma $\oint dS = 0$. Por lo
tanto, la función integrando S , lo mismo que la energía interna
es una función de estado; su valor queda definido unívocamente --
por los parámetros del estado.

La función S recibe el nombre de entropía, es una magnitud
extensiva (depende de la cantidad de masa de la substancia) y tie-
ne la propiedad de ser aditiva. La magnitud $s = \frac{S}{m}$ se llama en-
tropía específica y representa de por sí la entropía de la unidad -
de masa de la substancia.

iii) Variación de la entropía en los procesos irreversibles.

Si se considera un sistema aislado que conste de dos partes -
(cuerpos) a temperaturas distintas T_1 y T_2 , siendo $T_1 > T_2$, entre -
estas partes del sistema se producirá un proceso de intercambio -
de calor, es decir, pasará calor del cuerpo cuya temperatura T_1 ,
es mayor al cuerpo cuya temperatura T_2 es menor. Si desde el -
primer cuerpo pasa al segundo una cantidad de calor dQ , de acuer-
do con $dS = \frac{dQ}{T}$, se deduce que la entropía del primero disminui--

rá en la cantidad $dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}$, y la entropía del segundo aumentará en la cantidad $dS_2 = \frac{dQ}{T_2}$. Es evidente que la variación total de la entropía del sistema en conjunto será:

$dS_{sist} = dQ \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$, y como $T_2 < T_1$, resulta que $dS_{sist} > 0$, es decir, como resultado del proceso irreversible, la entropía del sistema aislado que se acaba de analizar, aumenta.

Si el proceso de intercambio calorífico entre las partes del sistema fuera reversible (recordando que la condición de reversibilidad en la realización de este proceso es que la diferencia de temperatura de los cuerpos sea infinitamente pequeña: $T_1 - T_2 = dT$) la entropía del primer cuerpo disminuiría en la cantidad $dS_1 = -\frac{dQ}{T_1}$, y la entropía del segundo cuerpo aumentaría en: $dS_2 = \frac{dQ}{T_1 - dT}$, de manera que para el sistema en conjunto la variación de entropía sería despreciable por su pequeñez:

$$dS_{sist} = dQ \left(\frac{1}{T_1 - dT} - \frac{1}{T_1} \right) \approx dQ \frac{dT}{T_1^2} \approx 0$$

Como se enunció antes, para el ciclo reversible de Carnot, $\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$; por lo tanto, si en un sistema se realiza un ciclo reversible de Carnot (o cualquier otro ciclo reversible entre dos fuentes de calor), la entropía del sistema no varía: $\Delta S_{sist} = 0$.

Pero si en un sistema se cumple un ciclo irreversible arbitra-

rio, se producirá necesariamente una variación de la entropía del sistema. Por lo tanto, si en un sistema entre dos fuentes de calor se cumple un ciclo irreversible, en donde $\frac{Q_2}{T_2} > \frac{Q_1}{T_1}$ (refiriendo se las temperaturas no al agente de transformación, sino a las fuentes de calor), la entropía del sistema crece: $\Delta S_{\text{sist}} > 0$, debido a que la entropía del agente de transformación no varía en un ciclo y la disminución de la entropía de las fuentes calientes es menor en valor absoluto que el aumento de la entropía de las fuentes frías. Por lo tanto, como resultado de la realización del ciclo irreversible, la entropía del sistema aislado aumenta.

Hasta aquí, se puede deducir una conclusión importante: un sistema aislado que alcanza el estado de equilibrio, en adelante permanece en ese estado, es decir, es incapaz de cambiar de estado espontáneamente. En efecto, todo proceso espontáneo es irreversible y por lo tanto, transcurre con aumento de la entropía; pero la entropía del sistema aislado tiene su máximo en el estado de equilibrio; por consiguiente, en un sistema aislado en equilibrio, no pueden ocurrir procesos espontáneos. Así, pues, los procesos espontáneos se suceden en el sistema aislado hasta que la entropía de éste llegue al máximo. Una vez alcanzado el estado de equilibrio, al cual corresponde el valor máximo posible de la entropía para el sistema dado, los procesos espontáneos cesan y el sistema permanece en el estado de equilibrio.

Las relaciones $dS = \frac{dQ}{T}$ y $dS > \frac{dQ}{T}$ se pueden unificar --
bajo la forma $dS \geq \frac{dQ}{T}$

Esta relación, que es válida para los procesos reversibles --
(signo igual) como para los irreversibles (signo >) que tengan -
lugar en cualquier sistema, representa de por sí la expresión ana-
lítica del segundo principio de la termodinámica.

e) Entropía y probabilidad termodinámica

La probabilidad matemática de que un proceso espontáneo ---
transcurra en el sentido de la disminución de la entropía del sistema
aislado que se considera es tan pequeña (como ejemplo sería -
el que en un recipiente dividido en dos partes, la probabilidad mate
mática del hecho de que las moléculas que contiene el recipiente
estén todas ellas en una mitad es muy pequeña y por lo tanto -
será muy pequeña la probabilidad de que se produzca un aumento -
espontáneo de la presión en una de las mitades del recipiente), que
en la práctica este tipo de transformaciones nunca ocurren "de por
sí". Así, pues, se puede suponer que entre la entropía y la pro-
babilidad existe cierta interrelación.

A diferencia de la probabilidad matemática, que tiene siempre
el valor de una fracción propia, la probabilidad termodinámica se -
expresa por medio de un número entero, generalmente muy grande.

(se entiende por probabilidad termodinámica o peso estadístico de un estado macroscópico, el número de estados microscópicos que realizan dicho estado macroscópico, determinándose el estado macroscópico por los parámetros termodinámicos de dicho sistema: presión, volumen específico, energía interna, etc, y el estado microscópico por el conjunto de los parámetros que definen el estado de cada una de las moléculas del sistema: velocidad, posición en el espacio, etc).

Si en un sistema aislado ocurre un proceso espontáneo, a consecuencia del cual cambia el estado macroscópico del sistema, esto significa que el nuevo estado macroscópico tiene una cantidad mayor de estados microscópicos que lo realicen que el anterior. Por eso está claro que, como resultado del proceso espontáneo, la probabilidad termodinámica del estado del sistema aumenta. Boltz-man enunció en estos términos el segundo principio de la termodi-námica diciendo: "la naturaleza tiende a pasar de los estados me-nos probables a los más probables".

El aumento de la entropía de un sistema aislado en las trans-formaciones irreversibles espontáneas, y el aumento simultáneo dela probabilidad termodinámica del estado del sistema, hacen supo-ner que la entropía y la probabilidad termodinámica son magnitudesrelacionadas entre sí: $S = \varphi (W)$, más exactamente:

$S = k \ln W$, donde k es la constante de Boltzmann, o sea la constante universal de los gases referida a una molécula y donde W es la probabilidad termodinámica. Si se considera un recipiente dividido mentalmente en dos partes iguales y lleno de un gas que posea las propiedades de perfecto, se puede decir en cuanto a la distribución de las moléculas de este gas entre las dos partes del recipiente, que el caso que con más alto grado de probabilidad debe esperarse, será aquel en que la cantidad de moléculas que hay en la parte izquierda del recipiente sea igual a la cantidad de moléculas que hay en su parte derecha. No obstante, el caso en que el número de moléculas es exactamente igual en las dos partes del recipiente, se producirá en realidad con una frecuencia relativamente pequeña. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el número de moléculas que se encuentran en la parte izquierda del recipiente se mantendrá todo el tiempo próximo a la mitad del número total de moléculas. Por esto, la probabilidad de la distribución real de las moléculas entre las dos partes iguales del recipiente, aunque no sea igual a la probabilidad máxima de la distribución uniforme (la probabilidad de la distribución real será algo menor), siempre será próxima a ella.

La interpretación estadística de la esencia de la entropía y del segundo principio de la termodinámica ha constituido un paso adelante para explicar el sentido físico de los fenómenos que ocurren

en la naturaleza. Basándose en la explicación estadística se puede decir que en principio, ni un sólo sistema pueden hallarse en estado de equilibrio absoluto, ya que en él se producen inevitablemente fluctuaciones.

El segundo principio de la termodinámica sólo es aplicable a los sistemas macroscópicos, es decir, a aquellos sistemas que están formados por un gran número de partículas. En cambio, el principio del aumento de la entropía en los procesos irreversibles es justo, exclusivamente, cuando se aplica a sistemas macroscópicos aislados.

f) Reversibilidad y producción de trabajo.

Un sistema aislado puede producir trabajo solamente si no se encuentra en estado de equilibrio absoluto. Si no se toman en consideración las transformaciones químicas, para que un sistema aislado pueda producir trabajo es necesario que la presión o la temperatura de los distintos cuerpos que lo forman no sean absolutamente iguales. En un sistema en que hay cuerpos a presiones diferentes no hay equilibrio mecánico. Si en el sistema hay cuerpos a temperaturas distintas, en él no existe equilibrio térmico. Sólo un sistema en desequilibrio es capaz de realizar trabajo. A medida que se vaya realizando trabajo el sistema aislado se irá aproximando al estado de equilibrio. Por lo tanto, la producción -

de trabajo por un sistema aislado sólo es posible en un proceso de paso del sistema de un estado de desequilibrio al de equilibrio. La cantidad de trabajo realizado depende del carácter del proceso de transición del sistema al estado de equilibrio y el trabajo máximo que puede conseguirse al pasar un sistema de un estado de desequilibrio al de equilibrio es cuando las transformaciones que ocurran en el sistema sean totalmente reversibles.

B). Correspondencia analógica entre el Segundo Principio de la Termodinámica y el Materialismo Dialéctico e Histórico.

— De acuerdo con lo expresado en el Capítulo I de este trabajo, el razonamiento por analogía es el que se efectúa cuando dos objetos tienen parte de sus caracteres semejantes, y de ello se infiere que probablemente tienen semejantes sus caracteres restantes, hallados ya en un objeto, pero no todavía en el otro.

Como se habló también en lo referente a la comprobación de las hipótesis en el mismo capítulo, esta comprobación se encuentra en función de las conclusiones que se desprendan de la suposición fundamental, y, si no contradicen los datos de la observación y la experimentación en su caso, la hipótesis debe considerarse como probable.

En analogía, las conclusiones que se obtienen pertenecen a las conclusiones de probabilidad, dependiendo ésta de la índole de sus bases.

También como se ha visto, al realizar una inferencia por analogía, no se compara un objeto sólo (A), con el objeto (B), sino que (A) se concibe como miembro de un grupo de objetos homogéneos. Cuanto mayor sea la parte de objetos del grupo representados por (A), punto de partida de la analogía, tanto mayor será la probabilidad de que la relación entre los caracteres, por ej. -- (abc) y (klm) observada en todos los objetos del grupo, no sea casual, sino necesaria, de acuerdo con las limitantes que se han tocado también en el capítulo citado.

En demostración, a fin de que la veracidad de la tesis que se demuestra sea convincente, como se ha visto, es preciso indicar el fundamento verdadero que lleve necesariamente a reconocer que es verdadera también la tesis dada.

El tipo de demostración que se utilizará aquí para probar la hipótesis, es la directa, en la cual se determina la veracidad de hipótesis por medio del análisis de los fundamentos y de las conclusiones en ellos basadas de la propia hipótesis. La investigación pone de manifiesto que la hipótesis a demostrar se sigue necesariamente de ciertas proposiciones y, como quiera que éstas

sean ciertas, lo es también aquella.

Por lo anteriormente expuesto, se procederá a intentar la demostración de la hipótesis de este capítulo, o sea, que existe un nexo, una relación analógica entre el segundo principio de la termodinámica y el materialismo Dialéctico e Histórico.

En principio, se considerarán los puntos de la entropía que se pretenden analogizar con el Materialismo Dialéctico e Histórico, a la luz de la conceptualización dada de entropía.

i) El segundo principio de la termodinámica establece la -- parte cualitativa (dirección) que tiene lugar en los sistemas físicos en los cuales se cumple con carácter universal el principio de conservación y transformación de la energía.

ii) Cualquier proceso real en mayor o menor grado, es una transformación (el conjunto de estados (parámetros) cambiantes del sistema que se considera) en desequilibrio, es decir, que por las características propias del sistema, la transformación y el proceso son irreversibles.

iii) La entropía mide el grado de irreversibilidad o desequilibrio de los procesos en los cuales se efectúa intercambio energético es decir, en los procesos reales.

iv) El equilibrio es el caso límite de los procesos reales ma

Crocópicos, en los cuales la entropía (dirección) del proceso es constante, lo cual implica que tal proceso seguirá en estado de equilibrio en tanto no haya perturbaciones externas que modifiquen ese estado.

v) En el equilibrio las transformaciones energéticas cesan a nivel de medio externo-sistema, aunque a nivel microscópico se siguen efectuando. Podría decirse que en el equilibrio el sistema cuenta para permanecer en ese estado, con determinados reguladores y controladores que lo "permeabilizan" de cambios en la "contextura" que guarda bajo ese estado.

vi) Bajo las dimensiones temporal espaciales todo proceso real, expresado en estado de desequilibrio o irreversibilidad, continuará en ese estado hasta que en el sistema como entorno en el cual se efectúa el proceso se establezca el equilibrio, es decir, todo proceso real en desequilibrio tiene una entropía mayor a cero que, durante el tiempo de existencia del propio proceso hará surgir reguladores y controladores que hagan que el sistema y por tanto el proceso tienda hacia el equilibrio, con la correspondiente disminución de entropía, lo que se puede expresar como la tenden

cia de los procesos a pasar de los estados menos probables, a los más probables.

vii) De lo anterior puede concluirse que la entropía y su expresión cuantitativa reflejan el grado en que un sistema se aproxima o se aleja del estado de equilibrio. Cualitativamente, la entropía puede extrapolarse hacia sistemas más complejos que el que inicialmente fué origen para su estudio. Así de la entropía actualmente se habla en física, química, biología, psicología, cibernética y economía, en donde podemos percatarnos de que, si bien todas estas disciplinas estudian partes específicas de la realidad, el objeto de su estudio difiere cualitativa y cuantitativamente en la parte de la realidad que estudian y explican. ¿Cuál es, pues, el punto que unifica a todas estas ciencias, respecto a la utilización del segundo principio de la termodinámica?

viii) El punto en cuestión es la posibilidad a través del concepto de entropía, de estudiar en cada ciencia, como las arriba expuestas, los procesos irreversibles o en desequilibrio, así como también los procesos que devienen hacia el equilibrio y que en cada campo de la realidad a la cual se abocan esas ciencias, se presentan. Y no sólo eso, pues el estudio de la entropía propicia com-

prender las fases de regulación y control que en cada proceso real se dan, su devenir y el cómo y por qué actúan esos reguladores y controladores, así como al estudiar estos, permiten influir en los procesos reales para subordinarlos a las necesidades prácticas del hombre.

ix) Por tanto, la entropía puede utilizarse, por ejemplo en química, para medir la duración en equilibrio de un compuesto resultante de una reacción química; en biología para medir la homeostasis de una célula ante perturbaciones del medio exterior y sus posibles transformaciones a consecuencia de esas perturbaciones. En cibernética para medir el grado de probabilidad con que un sistema adquirirá cierta información, etc.; pero lo que subyace en estos ejemplos es que la entropía no es la física, ni la química, ni la cibernética, la psicología o la economía (como se verá más adelante), sino que es un comportamiento de la realidad no creado por el hombre, pero si estudiado por él, que puede ser de utilidad instrumental en los diversos campos de la ciencia para ayudar a la comprensión y la explicación de fenómenos en los cuales (en todos) se presentan desequilibrios y equilibrios, sin intentar por la entropía modificar las categorías de cada ciencia por las cuales se diferencia el campo de estudio de cada una de ellas. Por esto, sería ilógico como ejemplo, decir que la biología se subordina a la entropía porque ésta expresa el grado de desequilibrio o equilibrio de un proceso biológico.

gico y, por tanto la biología debe ser únicamente el estudio de la entropía en tanto su utilización para explicar el fenómeno vida. - Por el contrario, la biología tiene sus propios métodos y cuerpo - categorial que en conjunto, en un momento histórico determinado - expresa lo que es la vida y su desarrollo y que se vale de concepto entropía como instrumento para formular y analizar más ampliamente los procesos que conforman el fenómeno vida. Por tanto, - la entropía es una herramienta conceptual que bien aplicada, comprendiendo lo que ella significa, facilita a su vez la comprensión del desarrollo de diversos fenómenos que estudia la ciencia.

x) De lo dicho en párrafos precedentes se deduce que no hay - obstáculo para extrapolar el concepto de entropía y ubicarlo en el marco de lo social. En efecto: las leyes y categorías que expresan el desarrollo de la sociedad humana llevan en su seno, correlativamente a las leyes y categorías que conforman el Materialismo Dialéctico, situaciones intrínsecas de desequilibrio y equilibrio, de irreversibilidad y reversibilidad; ésta última a través de reguladores y controladores - que se ejercen en la formación socioeconómica por medio del aparato estatal, del Estado propiamente, regulando los procesos económicos e ideológicos que le permitan como formación socioeconómica históricamente determinada, reproducirse, ser ella misma en sus caracteres esenciales.

Desde esta perspectiva, la entropía en su carácter más general como medida del grado de desequilibrio de un sistema es útil para comprender los tipos de regulación y los controles empleados en una formación socioeconómica para reproducirse y el por qué - del empleo de estos tipos y no de otros y, lo más importante, para estimar si los reguladores y los controles empleados son equilibradores (reductores de la entropía del sistema), o bien incrementan el grado de desequilibrio en las partes y en el todo que estructura a una formación socioeconómica, traduciéndose la medida de esa entropía en resultados que pueden ser considerados isomórficos* en el contexto de la propia formación socioeconómica, tal - podría ser el caso de las mayores medidas represivas por la clase dominante, de búsqueda de una mayor acumulación de capital, de la conservación y la ampliación a ultranza de la ideología dominante, etc., por citar algunos.

xi) De lo anterior, puede deducirse el carácter analógico que juega la cibernética (entendida como la ciencia que versa sobre el funcionamiento de los sistemas de acoplamiento) con ramas

* A este respecto O. Lange cita en su "Introducción a la Economía Cibernética", Ed. Siglo XXI, 1969, lo siguiente: "El descubrimiento realizado por la cibernética, de la semejanza y de los principios generales a los que se subordinan los sistemas de acoplamiento, tiene una importancia teórica que consiste en que ha demostrado la existencia de la analogía estructural o, expresado en lenguaje matemático, el isomorfismo de los procesos que se originan en las diferentes ramas de la vida real, como son: la técnica, la biología, la economía, etc. . . (p. 10).

como la economía, la biología, la psicología, etc. A este respecto es útil la lectura de la obra de O. Lange, ya citada, y de H. - Greniewsky: "Cibernética sin Matemáticas", Ed. F.C.E. La entropía, considerando la "analogía estructural o isomorfismo" de la Cibernética y los procesos de regulación y control que estudia ésta, puede en su carácter general (isomórfico) constatar el grado de equilibrio o desequilibrio que provocan los procesos de regulación y control que estudia en general la cibernética, aplicados a sistemas complejos que estructuran por ejemplo a una formación socioeconómica, formando parte esta categoría del Materialismo - Histórico.

— Los puntos vertidos anteriormente son el primer paso en la explicitación de los fundamentos requeridos para seguir un razonamiento analógico. Se podría decir que dichos puntos constituyen -- los caracteres que se comparan por transferencia del objeto (A): entropía o segundo principio de la termodinámica, al objeto (B) - Materialismo Dialéctico e Histórico. Si se prueba esa coexistencia, unida a los caracteres comunes, se estará en posibilidad de demostrar la veracidad de la hipótesis planteada de este capítulo.

Por tanto, se procederá a la comparación entre lo conceptualizado como Materialismo Dialéctico e Histórico y los puntos a analogizar obtenidos de la conceptualización de entropía.

— Los caracteres que unen a la entropía comúnmente con el Materialismo Dialéctico e Histórico se expondrán metodológicamente primero para el Materialismo Dialéctico y en forma posterior, cuando se haya comprobado que los caracteres transmitidos de la conceptualización de entropía guardan correspondencia con lo conceptualizado como Materialismo Dialéctico, se procederá a exponer los caracteres comunes de la entropía con el Materialismo Histórico, así como los caracteres transmitidos. Esto permite a mi modo de ver hacer la distinción de la fase en la que la entropía guarda un carácter estrictamente material y la fase de extrapolación en la que la entropía guarda un carácter también material pero bajo la forma del movimiento que constituye cualitativamente lo social. Además, de esta distinción se procederá a un primer intento de conceptualización de "campo entrópico material" y "campo entrópico social". Por tanto, hecha esta observación, se pasará a lo que en el anterior párrafo se ha propuesto.

i) La entropía guarda relación directa con el Materialismo Dialéctico en tanto que se encuentra íntimamente ligada con las formas de existencia de la materia. Así, la entropía es la expresión cualitativa de la energía considerada en su transformación y conservación y, al ser la energía una forma de existencia de la mate-

ría (concebida ésta como única base universal de todo lo existente, de todos los objetos y fenómenos de la realidad y por tanto, la expresión de la esencia más general del mundo), es a su vez una -- forma de expresión del movimiento, el cambio, la transición de un estado a otro como atributo universal de existencia de la materia. Igualmente, la entropía como propiedad de la energía se manifiesta en un entorno espacial - temporal caracterizado por la sucesión del desenvolvimiento de los procesos materiales, la distancia entre las distintas fases de esos procesos, su duración y desarrollo.

De lo anterior se prueba el nexo de carácter universal que -- existe entre todas las formas de la materia, cualitativamente diferentes, y de las correspondientes formas del movimiento. Este -- nexo existe y existirá siempre y en todas partes, no pudiendo haber nada que no sea materia en movimiento o que no haya sido engendrado por la materia en movimiento. En eso consiste precisamente la unidad del mundo. Asimismo, se prueba el carácter común que tiene el segundo principio de la termodinámica con la -- concepción materialista del mundo y por ende, con su concepción -- dialéctica.

ii) Tocante a los caracteres transmitidos con los cuales se intenta hacer la analogía entre la entropía y el Materialismo Dia--léctico, conviene tener presente la observación de que el desprecio

entre las formas superiores del movimiento y las inferiores, conduce al mecanicismo. Este surge cuando se intenta reducir las formas superiores del movimiento a las inferiores sin tomar en consideración todas las formas procedentes e intermedias. Por ejemplo, a veces se identifica al pensamiento con los procesos informativos que tienen lugar en las máquinas cibernéticas, sin tener en cuenta el hecho de que todos los procesos en los sistemas cibernéticos son resultado de las formas físicas del movimiento. En cambio, el pensamiento se basa en la interacción de las más complejas formas biológicas y sociales del movimiento, es producto del desarrollo social, y por ello, no puede ser comprendido fuera del estudio de lo que se refleja en el cerebro humano. De la misma manera, las formas biológicas no pueden reducirse a las formas físicas y químicas.

Lo valioso de esta observación revierte al autor a declarar que la dilucidación del nexo entre la entropía y el Materialismo Dialéctico está precisamente no en la confusión cualitativa de formas de movimiento diferentes, sino en el carácter analógico que tienen esas formas de movimiento, por el cual es posible declarar que, como en la cibernética, el no confundir los caracteres cualitativos diferentes permite, bien aplicada, no negar el carácter analógico por el cual muchos problemas del pensamiento, mas no el pensamiento en sí, son resueltos por las máquinas analógicas. En igual medida, -

no se pretende al comparar los caracteres específicos de la entropía con el Materialismo Dialéctico, reducir éste a una concepción entrópica burda, sino señalar que en el Materialismo Dialéctico coexisten los caracteres específicos de la entropía y que en este sentido es posible hablar de una analogía entre ambos.

Asimismo, el autor cree que la exposición del objetivo arriba asentado conlleva señalar los nexos entre la entropía, en los caracteres -- transmitidos delineados párrafos arriba, y las leyes y categorías - del Materialismo Dialéctico, lo cual implica una breve explicación del por qué los considero caracteres transmitidos.

Son caracteres transmitidos porque la irreversibilidad y la reversibilidad, el desequilibrio y el equilibrio Inmersos en el concepto de entropía, permiten suponer al transferirse y compararse con - las leyes y las categorías del Materialismo Dialéctico, que los caracteres no son casuales, sino necesarios en el ámbito de estudio del Materialismo Dialéctico, amén de la coexistencia de los caracte-- res idénticos, que se han explicado líneas arriba y por los cuales hay una relación íntima con el Materialismo Dialéctico a través de las formas de existencia de la materia.

iii) De este modo, la entropía concuerda con al concepción - del Materialismo Dialéctico en que en los sistemas materiales, los procesos reales se forman como resultado de la acción recíproca

de los elementos que los integran. De la misma manera, todas las propiedades de los cuerpos surgen sobre la base de la interacción y del movimiento y se manifiestan a través de ellos. La interacción es universal: comprende los múltiples cambios de las propiedades y los estados de los objetos, así como todos los tipos de nexos existentes entre ellos. Cada fenómeno y todo el mundo en su conjunto constituyen un complejo sistema de relaciones, cuyo aspecto más esencial es la conexión y la interacción de las causas y los efectos. Gracias a esta conexión unos fenómenos y procesos engendran otros; se pasa de unas formas del movimiento a otras: se realizan el movimiento y el desarrollo. No es difícil inferir de lo anterior, la correspondencia con los puntos que tocan el segundo principio de la termodinámica en lo referente a que cualquier proceso real, en mayor o menor grado es una transformación en -desequilibrio, irreversible y que la medición del grado de esto último es la propia entropía.

iv) en cuanto a las leyes de la dialéctica, que rigen en todas partes y abarcan todos los aspectos de la realidad, se puede hablar ampliamente de una relación analógica con la entropía en función -de que ésta y lo que expresa respecto a la realidad se subordina y cumple ella misma con las leyes de la Dialéctica Materialista.

Así, la ley de la transformación de los cambios cuantitativos -

en cualitativos guarda una correspondencia inmediata con el primero y segundo principios de la termodinámica, y al expresar este último para cada proceso de la realidad y su desarrollo, se observan también directamente cambios cuantitativos** y precisamente, de las modificaciones en los cambios de la medida, la dirección - que sigue el principio de conservación y transformación de la - energía explica el proceso de desarrollo de los intercambios energéticos y, abstrayendo más, el desarrollo de un proceso cualquiera real, su desenvolvimiento y el paso de lo viejo o caduco hacia lo nuevo, con un contenido diferente respecto al proceso antiguo - y con desequilibrios y reguladores nuevos.

La ley de la unidad y la lucha de los contrarios, según la cual a todas las cosas y procesos les son inherentes contradicciones internas que hacen que se pueda afirmar de acuerdo con la Dialéctica - Materialista, que un objeto existe y no existe al mismo tiempo, de que lleva en sí su propio ser, y de que el objeto es la unidad de - la estabilidad y la mutabilidad, así como el que la esencia de la contradicción dialéctica se puede definir como una relación y una con-catenación entre los contrarios en la que éstos se afirman y nie-gan mutuamente y que la lucha entre ellos sirve de fuerza motriz, de

** Vease Anexo I.

origen del desarrollo. En el sentido anterior, la entropía se identifica con esta ley en tanto que aquélla mide el grado de estabilidad de los procesos reales y su mutabilidad, expresados a través de la irreversibilidad en los mismos, en la que subyacen concatenaciones entre los contrarios por los cuales se expresa esa irreversibilidad, ese grado de desequilibrio necesario para el movimiento del fenómeno en el sistema que condiciona y que es condicionado, por el cual se une.

La ley de la negación de la negación se expresa en la Dialéctica Materialista como condición y factor de desarrollo y como un factor del nexo de lo nuevo con lo viejo. El primer rasgo significa que sólo la negación que sirve de premisa para que surjan formas nuevas, más elevadas, es una "negación positiva". El segundo rasgo significa que lo nuevo como negación de lo viejo no lo destruye simplemente, sino que parece como si lo "separase". El término separar expresa bien el sentido y el contenido de la negación dialéctica: el precedente se niega y se conserva al mismo tiempo. Se conserva en un doble sentido: primero, sin el desarrollo precedente no habría base para las nuevas formas; segundo, todo lo que se conserva del peldaño precedente de desarrollo pasa al peldaño siguiente substancialmente transformado. Así pues, la negación de la negación aparece precisamente como síntesis de todo el desarrollo anterior, como síntesis de estas formas contrarias --

unilateralmente, que supera y resuelve la contradicción entre -- ellas. En este sentido, la negación de la negación es el eslabón final de todo el ciclo del desarrollo. Un rasgo peculiar del proceso de negación de la negación es su irreversibilidad, es decir, que un desarrollo como tendencia general, no puede ser un movimiento de retroceso de las formas superiores a las inferiores, de las complejas a las simples. Esto se explica porque cada nuevo peldaño, al sintetizar en sí toda la riqueza de los peldaños precedentes, constituye la base de formas más elevadas del desarrollo, -- que a su vez pueden coincidir con formas inferiores en el desarrollo en otros peldaños. Así, unas líneas del desarrollo general pueden estar dirigidas no hacia adelante, sino hacia atrás, y expresar momentos de regresión, de un momento de retroceso.

Desde el punto de vista de la entropía, la ley de la negación - de la negación se expresa en el curso mismo del movimiento de - un fenómeno por cierto proceso real, en tanto que el pasar de un estado de entropía elevada para un sistema (espontáneo e irreversible), se pasa paulatinamente por los reguladores y controladores que ese propio sistema va creando en su devenir, a un sistema - que presenta estados cercanos al equilibrio (primera negación) con entropía decreciente. Pero las perturbaciones que han habido en - el entorno de desarrollo del sistema hasta la primera negación, - generan nuevos desequilibrios y reguladores, lo que hace que el sis

tema pase como tal a un estado nuevo, tanto cuantitativa como --
cualitativamente, que puede ser más elevado que el primero en -
función de la complejización que ese sistema alcance como forma
de manifestación de la materia, o bien simplifique en su desarrol
lo a formas materiales que en el momento de la segunda nega---
ción del sistema primario se encontraban en cierto escaño de de-
sarrollo material.

v) Las conclusiones derivadas de la suposición fundamental
de la hipótesis de este capítulo (Nexo analógico entre el segundo -
principio de la termodinámica y el Materialismo Dialéctico e His-
tórico), se han constatado respecto a las formas de existencia de
la materia y a las leyes fundamentales del Materialismo Dialéct-
ico, probándose que existe una relación analógica. Toca ahora el
turno a la comparación de las categorías del Materialismo Dialéct
ico con las conclusiones que respecto a la entropía se han expuesto
al principio de este apartado, tomando en cuenta que la relación -
que pueda existir entre ambas lleva implícitas determinaciones de
demostración de la hipótesis de este capítulo.

1) Respecto a las categorías de lo singular, lo particul
lar y lo universal, en la vida real, lo mismo que en el conol
cimiento, todo fenómeno es singular respecto a un conjunto -
más amplio de fenómenos; pero solamente viendo un - - -

fenómeno determinado en su interdependencia con otros puede establecerse si es singular, particular o universal. Un grupo, un conjunto de éstos suele ser todo ello a la vez; es decir, singular, particular y universal. De este modo, la entropía es un fenómeno singular por ejemplo aplicado a su medición en un elemento químico; es particular en su concepción como segundo principio respecto a la termodinámica en sí y respecto a otras ciencias y es universal en tanto que expresa un nexo esencial, interno y reiterado (irreversibilidad y reversibilidad) entre los fenómenos que estudia la ciencia en general.

2) En relación con las categorías de causa y efecto, la entropía y su nexo interno, esencial, se encuentran vinculados con relaciones de causalidad y de producción de efectos que son ambas de carácter activo, es decir que participan en el proceso de desarrollo de un fenómeno, y como tal, la entropía, al tener su correspondiente fuente material se encuentra inmersa en la relación causa - efecto y amplía en su concepción, la concepción causal de los fenómenos que abarca la ciencia en general.

3) En cuanto a las categorías de posibilidad y realidad, considerando que ambas son objetivas pues reflejan las propie

dades de las cosas y de los fenómenos que existen fuera de nuestra conciencia e independientemente de ella, expresan o contienen también a los fenómenos que la entropía abarca, por ser ésta una forma de expresión de la materia independiente de nuestra conciencia. Así pues, hay una vinculación directa entre las categorías de posibilidad y realidad y su expresión, con el segundo principio de la termodinámica.

4) Respecto a las categorías del fenómeno y la esencia, la entropía, al ser una manifestación de la realidad se encuentra ligada a ambas. En efecto, la entropía abarca la manifestación de determinadas características en los fenómenos de la realidad y esencialmente, internamente, expresa el fundamento por el cual se producen esas características, su aspecto esencial, que hace posible precisamente extender la comprensión de una amplia gama de fenómenos.

5) Con las categorías de necesidad y casualidad la entropía guarda una relación muy estrecha en tanto que en el desarrollo de un fenómeno, la entropía que en él se produce tiene un carácter necesario; sin embargo, los aspectos casuales intervienen en el desarrollo del fenómeno haciendo que no obstante la certeza que se tenga en cuanto a que éste siga un desarrollo específico, la determinación del mismo

se condiciona también a los factores casuales que pueden alterar la dirección y la velocidad con los cuales se produce ese desarrollo.

6) La ley, considerada como la conexión interna y necesaria de dos cosas, es en la entropía la manifestación de la correlación entre la conservación y transformación de la energía y la dirección (irreversible o reversible) a la que tiende la cosa, el fenómeno o la parte material en su movimiento. En este sentido la entropía es una ley universal de la física, ya que se deriva de la ley de la conservación y transformación de la energía, la cual guarda ese carácter. Lo esencial, como se ha visto de la entropía, es explicar el carácter interno por el cual se producen cambios irreversibles o reversibles en el desarrollo de un fenómeno, en su movimiento. -- Por este motivo, se puede ampliar el rango de lo que cualitativamente indica la entropía en su entorno físico y extenderlo hacia fenómenos con rasgos cualitativos característicos de diversas formas de movimiento de la materia. Esto es posible por la semejanza que en lo interno guardan las diferentes formas del movimiento, en el cual siempre se producirán cambios (esencia del propio movimiento) con determinadas direcciones a las cuales se les podrá considerar bien irreversibles o en desequilibrio, o reversibles o en equilibrio. Este es el

nexo analógico del segundo principio de la termodinámica con otras leyes específicas del movimiento.

7) Con el contenido y la forma, según son concebidas por el Materialismo Dialéctico, la entropía guarda relación en tanto que ésta es una expresión de la materia; por tanto, su contenido es la manera como representa el desarrollo de los fenómenos que abarca lo que provoca su desequilibrio, y la forma es la estructura o la organización que dichos fenómenos guardan en el proceso de su desarrollo, de su movimiento, bien sea éste en desequilibrio o en equilibrio. El nacimiento y el desarrollo de las contradicciones y de la "lucha" entre el contenido y la forma tanto en la vida social como en el desarrollo de la naturaleza, son manifestaciones de la ley universal del desarrollo a través de la lucha de contrarios. Sin embargo, el carácter de la contradicción entre el contenido y la forma, su grado de desarrollo y el modo de resolverse en cada caso concreto presentan rasgos particulares, ya que todo depende de las condiciones concretas, internas y externas, del fenómeno.

vi) De los anteriores puntos, el carácter analógico que la entropía guarda con el Materialismo Dialéctico puede captarse a través de las categorías de lo abstracto y lo concreto. Estas ca-

tegorías surgen de la necesidad de comprender el proceso del conocimiento y permiten captar la dialéctica del reflejo de la realidad en la conciencia humana.

Así, la entropía, como fenómeno de la realidad, es abstraída en función de destacar lo que hay de común, de idéntico, con otros fenómenos de la naturaleza y poner de relieve lo esencial, lo que - constituye la vía para llegar al conocimiento multilateral, concreto, del contenido común de los fenómenos.

De lo abstracto a lo concreto no se opera un simple proceso de sumar o ensartar una abstracción tras otra, sino una síntesis que significa una penetración cada vez más honda en la esencia -- del fenómeno. Al sintetizar las abstracciones se modifica el contenido de éstas, pues incluso algunas abstracciones, que forman parte de la síntesis, captan luego la realidad más profundamente que antes de participar en la síntesis. Este es precisamente el - objetivo que se ha perseguido en esta parte del capítulo: mostrar que realmente hay una relación de analogía entre el concepto de - entropía y la realidad en cambio constante, realidad que es com-- prensible de una manera más profunda a través de las leyes y categorías del Materialismo Dialéctico y que muestra en su devenir una serie de desequilibrios y equilibrios que como se ha sentido - al hablar de entropía son medidos por ella y constituyen la esencia -

de ella, y que sin mecanicismo se puede hablar de entropía en diversos procesos cualitativamente distintos de la realidad. Con la serie de conclusiones que se han obtenido al analogizar la entropía con las leyes y las categorías del Materialismo Dialéctico, creo que se prueba y se demuestra el supuesto de la hipótesis de este trabajo en lo tocante al Materialismo Dialéctico.

— El paso subsiguiente del punto que conforma este apartado lo constituye el identificar la analogía entre el segundo principio de la termodinámica y el Materialismo Histórico. Para esto y en función de simplificación no se repetirá lo que ya se ha expresado al principio respecto a la analogía y entropía específicamente. Antes bien, es de considerar que esta parte del análisis supone como cierto lo que ha expresado el autor en esos puntos y por tanto me remitiré directamente a las situaciones analógicas entre la entropía y las leyes y categorías del Materialismo Histórico, considerado éste como la expresión del movimiento social y parte integrante de la totalidad real.

Dada la riqueza teórica y práctica del Materialismo Histórico para la concepción y la modificación del movimiento social, en una primera instancia, por el propio carácter específico del movimiento, éste lleva en su esencia situaciones de equilibrio y desequilibrio en el entorno temporal-espacial en el que se desarrolla. Así, en un primer acercamiento subyace la entropía como concepto rico

en determinaciones y que, respetando debidamente la extrapolación (término que se ha explicado ya) guarda semejanza, analogía, con las leyes y categorías que en su propio ser expresan el movimiento social, sin pretender como se ha dicho también tomar el papel de esas leyes y categorías y reducir absurdamente el movimiento social a un vulgar mecanicismo entrópico. Sin embargo, esto no resta el que pueda servir el concepto de entropía en su carácter isomórfico para ser "imagen" o reflejo de lo que el Materialismo Histórico expresa como motor esencial del movimiento social y, desde este punto de vista desarrollar formas que operativamente puedan ser aplicadas en el campo de las ciencias sociales, sin merma de lo que es propio en leyes y categorías al Materialismo Histórico y a las ciencias sociales concatenadas esencialmente a aquél.

De lo expuesto anteriormente, se pasará a vincular a las leyes del Materialismo Histórico con la noción de entropía.

i) Las leyes de la transformación de los cambios cuantitativos en cualitativos y viceversa, de la unidad y la lucha de los contrarios y de la negación de la negación, al regir en todas partes y abarcar todos los procesos de la realidad encuentran obviamente en el campo de lo social expresión concreta. De la forma de operar de estas leyes se encuentran ejemplos palpables en los libros de -

V. Kelle y M. Kovalzón: "Materialismo Histórico"; de Rosental y G.M. Straks: "Categorías del Materialismo Dialéctico", y en M. Rosental: "Lenin y la Dialéctica", por citar algunos. Asimismo, como líneas arriba se ha expresado, en estas leyes se puede percibir el carácter de desequilibrio y de equilibrio para los procesos naturales, e igualmente para los procesos sociales; el cambio como expresión de lo estable a lo mutable y su irreversibilidad; la contradicción como fuerza motriz del desarrollo, los parámetros de estabilidad y regulación de los fenómenos, sean naturales o sociales. Todo esto expresan las leyes de la Dialéctica, y se pueden aplicar los mismos razonamientos que ya se han vertido anteriormente en este párrafo con respecto a la correspondencia analógica con el segundo principio de la termodinámica, precisamente por el carácter universal de esas leyes.

Cabe repetir, como anteriormente se ha hecho, que las leyes del Materialismo Dialéctico y sus categorías se cumplen cuando se estudian el movimiento, los nexos internos, el desarrollo de la sociedad humana, dado el carácter universal que revisten esas leyes y categorías. Pero también es necesario recalcar que esas leyes y categorías guardan un carácter especial, concreto, en la sociedad humana a consecuencia de que el ser social y su dialéctica es cualitativamente diferente al ser material. En esto estriba la diferencia entre el Materialismo Dialéctico y el Materialismo Histó-

rico y en ello estriba también su unidad.

ii) Las leyes sociales expresan un nexo objetivo, necesario y estable: relaciones entre fenómenos y procesos. Las leyes formuladas por el Materialismo Histórico y otras ciencias sociales expresan asimismo un nexo necesario, estable y repetido entre los fenómenos y los procesos sociales. Hay leyes sociales que actúan en todas las etapas del desarrollo de la sociedad. Entre ellas se pueden mencionar las siguientes: el papel determinante de las fuerzas productivas en las relaciones económicas; el papel determinante de la base económica en la conciencia social; el papel determinante del modo de producción en una u otra estructura de la sociedad; el papel determinante de la base económica en la superestructura social; la dependencia de la naturaleza social del individuo respecto del conjunto de relaciones sociales, etc. Estas leyes son denominadas leyes sociológicas generales y rigen en todas las formaciones, incluido el comunismo.

Además de las leyes sociológicas generales, existen otras inherentes sólo a varias formaciones sociales. Son: la ley de la división de la sociedad en clases, peculiar de determinados modos de producción y la ley de la lucha de clases como fuerza motriz de la historia, propia de las formaciones socioeconómicas basadas

en el antagonismo de clases.

Las leyes de la vida social tienen una existencia y una vigencia menores que las leyes de la naturaleza, lo cual constituye en general una de sus peculiaridades. Al igual que la ley de la lucha de clases, otras leyes rigen únicamente allá y cuando existen las correspondientes condiciones y relaciones. No obstante, son leyes objetivas, reales, que expresan los nexos esenciales internos y relativamente estables entre los fenómenos y los procesos sociales.

Cada ley actúa en condiciones determinadas, y los resultados de su acción dependen de esas condiciones concretas, que cambian de una formación a otra, e incluso dentro de cada formación, y de un país a otro.

iii) Por lo expuesto en los dos puntos anteriores, se puede precisar una unificación analógica del segundo principio de la termodinámica y el Materialismo Dialéctico e Histórico, considerando en el proceso de analogización la diferencia cualitativa entre Materialismo Dialéctico y Materialismo Histórico. En efecto, las leyes sociales mencionadas anteriormente guardan relación en sus manifestaciones con las leyes materiales, lo que conforma su unicidad. Asimismo, la entropía como medida del cambio, del desequilibrio, de la irreversibilidad en el transcurso de los procesos

materiales, puede unificarse (en su notación de dirección de un proceso y cuantificación de la desviación respecto a una norma o directriz en el campo espacial-temporal en que se dé ese proceso) para señalar cambios, desequilibrios, irreversibilidades, desviaciones en el ámbito de lo social. Así, las leyes del cambio social, del movimiento social, del Materialismo Histórico en suma, expresan el por qué de las fuerzas motrices y el desarrollo de la sociedad; sin embargo, la segunda ley de la termodinámica puede reproducir bajo otro aspecto, bajo su propia notación, esas mismas fuerzas motrices y el desarrollo de la sociedad.

Es, para hacerlo más claro, como la Cibernética: por esta ciencia se obtienen los cimientos teóricos que en conjunción con otra gama de ciencias prácticas (ingeniería electrónica, ingeniería química, etc.) pueden crear máquinas analógicas del pensamiento. La máquina reproduce ciertos procesos lógicos y da ciertos resultados; sin embargo, la máquina no piensa, no es el pensamiento en sí, sea éste matemático, físico, lógico, económico, etc. El fenómeno del pensamiento, sus causas y sus efectos son objeto de la psicología y ella tiene sus propias leyes y categorías para el estudio del proceso pensar. En igual forma, el Materialismo Histórico, como la psicología en el ejemplo, tiene como se ha dicho, sus propias leyes y categorías, pero esto no obsta para que esas leyes y esas categorías se puedan reproducir por medio de la entropía. La en

entropía nunca será el Materialismo Histórico, pero como la máquina analógica, puede ser instrumento para emitir resultados o conceptualizar nuevos problemas que requieren solución en lo social.

Por tanto, no es mera especulación hablar de interrelación entre la entropía, el Materialismo Histórico y las ciencias sociales; esto sería actuar en el vacío, en el mundo de la idea. Por el contrario, es porque pienso que tiene aplicabilidad práctica para la expresión de varios problemas de las ciencias sociales y la economía en particular, y en especial para esta tesis la acumulación y reproducción del capital, por lo que trato de probar la hipótesis en el plano material de este segundo capítulo; la existencia de una correspondencia analógica entre el segundo principio de la termodinámica y el Materialismo Dialéctico e Histórico.

iv) Toca ahora el turno a la relación entre las categorías del Materialismo Histórico y la entropía.

1) La producción. Toda producción se caracteriza por ciertos elementos inseparables a) El proceso de trabajo que da cuenta de la transformación de la naturaleza que el hombre realiza para convertirla en un objeto útil, y en el cual intervienen: b) el objeto sobre el cual se trabaja; c) los medios con los que se trabaja; d) la actividad humana realizada en el

proceso de producción y denominada fuerza de trabajo; e) el producto, o sea, el objeto final creado en el proceso de trabajo. De estos cinco elementos, los medios de trabajo determinan el tipo de actividad que deben realizar los individuos para la fabricación de los productos, determinando de esta manera el tipo de relación que se establece entre el trabajador y los medios de trabajo o de producción. Además, en toda producción social existe una repartición de tareas, es decir, una división del trabajo.

2) Las relaciones de producción, o sean las relaciones que en el proceso de producción se establecen entre los individuos que participan en ese proceso. Estas relaciones pueden agruparse en: a) relaciones técnicas, que comprenden las formas de control o de dominio que los agentes de la producción ejercen sobre los medios de trabajo y sobre el proceso de trabajo en general; b) relaciones sociales de producción que son aquellas que se establecen entre los propietarios de los medios de producción y los productores directos en un proceso de producción determinado, relación que depende del tipo de relación de propiedad, posesión, etc., que ellos establezcan con los medios de producción.

La analogía que hay en esta categoría con la entropía consiste en que tanto el proceso de trabajo como las relaciones de producción, por el carácter histórico que tienen, - - -

se encuentran sujetos a procesos de desequilibrio surgidos -- por desfases entre las relaciones técnicas y las relaciones sociales de producción, que repercuten en la forma en que se - realiza el proceso de trabajo, haciendo que en cierto momento histórico haya irreversibilidad entre el proceso de trabajo y las relaciones de producción, creándose un estado nuevo de relación, de equilibrio, de reversibilidad y de correspondencia - entre ambos factores. Con el tiempo y por las propias le--yes del desarrollo social se crearán nuevos desajustes, nue--vas tendencias, nuevos estados con entropía elevada y nuevos - reguladores de los desequilibrios para mantener esas tenden---cias hasta un punto en el cual "envejezca" el sistema creado, disminuyendo su entropía como todo y aumentando los desequilibrios los desajustes y la entropía en la parte o partes más dinámicas del sistema, renovándose el final éste en un ciclo más amplio en la producción social, tal como lo demuestra la historia.

3) Las fuerzas productivas. - Se denominan fuerzas productivas a la resultante de la combinación de los elementos - del proceso de trabajo bajo relaciones de producción del trabajo (productividad del trabajo). Las fuerzas productivas históri--camente se han socializado más por la interdependencia cada - vez mayor que existe entre los diversos sectores de la producción social. Es de hacer notar que históricamente el desarro

llo de las fuerzas productivas es en términos generales constante, mientras que las relaciones de producción tienden a -- quedar retrasadas respecto al desarrollo de las fuerzas productivas y a frenarlas, a obstaculizarlas.

En este sentido, se podría analogizar que las fuerzas productivas tienen en un momento histórico determinado una elevada entropía que provoca el avance de las mismas y por el contrario, las relaciones de producción establecen reguladores de freno a su propia entropía en relación a la de las fuerzas -- productivas, hasta que se produce un "choque entrópico" que libera plenamente o frena lo más posible, conforme a la lucha de clases que se dé realmente, la tendencia hacia un nuevo estado fuerzas productivas - relaciones de producción.

3) Estructura y estructura económica. - Se denomina -- estructura a una totalidad articulada compuesta por un conjunto de relaciones internas y estables que son las que determinan la función que cumplen los elementos dentro de esa totalidad. Se denomina estructura económica al conjunto de relaciones de producción.

Desde esta perspectiva, la analogía entre estructura, estructura económica y entropía sería la serie de estabilizadores que condicionan a una estructura como todo en un espacio-tiempo

determinado; estabilizadores que mantienen cierta dirección - del todo y cierta reversibilidad, una entropía más o menos fija pero que, por guardar en su seno a la estructura económica o relaciones de producción como punto nodal contradictorio en el curso del todo, condiciona el desequilibrio, el desarrollo del todo, su irreversibilidad precisamente por la - entropía elevada que conllevan esas relaciones de producción en su desfase con las fuerzas productivas, desfase que se resuelve por la lucha de clases en las formaciones sociales dividas en clases.

4) Infraestructura y superestructura. - Por infraestructura se denominan a las fuerzas productivas y las relaciones - de producción, ya expresadas líneas arriba; por superestructura se designa a dos niveles de la sociedad: la estructura jurfdico política y la estructura ideológica. Para explicar los fénómenos sociales pertenecientes a la superestructura, el -- "hilo conductor" lo constituye la infraestructura.

Con relación a esta categoría, analógicamente se podría expresar que la entropía es mayor en la infraestructura, lo que -- implica desequilibrios en los que la superestructura, como se ha definido, tiene una entropía menor y una dirección relativamente estable: por tanto, tiene mayores reguladores que en un momento histórico determinado no pueden hacer frente a -

los desequilibrios provocados por la infraestructura (precisamente por el carácter contradictorio de la no correspondencia entre las fuerzas productivas y las relaciones de producción), y se desarrolla un proceso de desajuste o de elevación de entropía en la superestructura hasta que adquiere similar tendencia, reguladores nuevos adaptados al desarrollo que guarda la infraestructura, hasta el punto en el cual por las contradicciones internas del sistema considerado no es posible estabilizarlo y aumentan los desequilibrios y surge entonces la solución revolucionaria creadora de nuevas relaciones entre la infraestructura y la superestructura.

5) Modo de Producción, Formación Social y Coyuntura Política. - El concepto modo de producción permite conocer en forma científica una totalidad social. Todo modo de producción está constituido por: a) una estructura global, formada por tres estructuras regionales: 1) estructura económica; 2) estructura jurídico política (leyes, Estado, etc) y 3) estructura ideológica (ideas, costumbres, etc); b) en esta estructura global, una de las estructuras regionales domina a otra; c) en esta estructura global, la estructura económica es siempre determinante en última instancia. A nivel de modo de producción, se considera dominante aquella estructura regional que desempeña el papel fundamental en la reproduc-

ción de un modo de producción determinado. d) Lo que caracteriza a un modo de producción es su dinámica, es decir, la continúa reproducción de sus condiciones de existencia.

El concepto formación social designa una realidad social históricamente determinada en la cual coexisten varios modos de producción de los cuales uno guarda carácter dominante, y en su conjunción explica el carácter complejo de las estructuras ideológicas y jurídico políticas de toda sociedad históricamente determinada. Por tanto, la formación social es una estructura compleja, compuesta por estructuras regionales complejas articuladas a partir de la estructura de las relaciones de producción.

La coyuntura política es el "momento actual" de la lucha de clases en una formación social o sistema de formaciones sociales. Este "momento actual" se caracteriza por ser una síntesis de las contradicciones de una formación, o de un sistema de formaciones sociales en un momento determinado de su desarrollo. Esta se expresa fundamentalmente como una oposición entre diferentes fuerzas sociales.

Respecto a la relación analógica entre esas tres categorías y la entropía se puede mencionar lo siguiente: el modo de producción en su estructura, en su concepción, manifiesta deter-

minadas direcciones que se deben cumplir a través de la aplicación de reguladores. La conducta de un modo de producción supone la superación de desequilibrios, de atenuación de entropía elevada para conducirse a través de determinada "norma" y mantenerse en ella, para lo cual es necesario atenuar las entropías de la estructura jurídico política y la estructura ideológica, y a su vez, por su propio proceso de desarrollo, el modo de producción genera nuevos desequilibrios, entropía elevada, y por tanto el paso histórico hacia nuevos modos de producción.

En la formación social se da una situación similar en forma más compleja, con mayores correlaciones entrópicas, con desequilibrios mayores, reguladores más elaborados para conservar cierta tendencia o norma del modo de producción dominante y, en consecuencia, perturbaciones mayores que generan el desarrollo de relaciones de producción nuevas, y por tanto la lucha por el dominio de nuevos modos de producción y su correspondiente sujeción de las estructuras políticas e ideológicas, dotándolas de entropía elevada para estar acordes con el modo o modos de producción que en un momento históricamente determinado están generando aumentos de entropía, desequilibrios, perturbaciones a lo viejo, a las tendencias establecidas, y creando nuevas tendencias en ciclos ininterrumpidos y -

que, como demuestra la historia, superan cualitativa y cuantitativamente a lo que se destruye, a lo que se transforma.

La coyuntura política, como la forma que reviste la lucha de clases en un momento determinado, es el motor de las perturbaciones que se puedan presentar en cualquier formación social; es el indicador más preciso de la entropía que en lo social establece el cambio, la dirección de la sociedad en su conjunto hacia una norma o hacia otra; y es en la lucha de clases y en la forma que revista donde se puede palpar la entropía en la producción, en las fuerzas productivas, en la estructura económica, en la infraestructura y en la superestructura, en suma, en las categorías del Materialismo Histórico.

6) Las clases sociales. - Las clases sociales las define Lenin como "grandes grupos de hombres que se diferencian entre sí por el lugar que ocupan en un sistema de producción - históricamente determinado, por las relaciones en que se encuentran frente a los medios de producción (relaciones que la estructura jurídica fija y consagra), por el papel que desempeñan en la organización social del trabajo y, por consiguiente, por el modo y la proporción en que perciben la parte de la riqueza social de que disponen". En este sentido, dondequiera que históricamente hay sociedad dividida en clases, hay perturbaciones y desequilibrios y por ende reguladores que la cla-

se dominante impone a la clase o clases dominadas para atenuar la entropía del sistema, para sujetarlo a la norma que se ha creado para perpetuarse.

7) La lucha de clases. - Se denomina así al enfrentamiento que se produce entre dos clases antagónicas cuando -- estas luchan por sus intereses de clase. La lucha de clases aparece cuando una clase se opone a otra en su acción y, por lo tanto, sólo aparece en un determinado momento del desarrollo de una sociedad y se da en los tres niveles o estructuras regionales que forman parte de la estructura social global, desarrollándose así una lucha económica, una lucha ideológica y una lucha política. La relación analógica entre la entropía y la lucha de clases es fundamental, como se ha esbozado ya en lo referente a las categorías coyuntura política y clases sociales, y se plasma en la lucha de clases, que es motor de perturbaciones, generadora de entropía elevada en el campo social y desequilibradora de la estabilidad social y que proyecta directrices nuevas en sociedades de clases, como rompimiento de reguladores y creación superada (cualitativa y cuantitativa) de relaciones de producción, modos de producción y formas sociales.

e) Se estima haber demostrado hasta aquí, la hipótesis de este capítulo: que existe una correspondencia analógica entre el segun

do principio de la termodinámica y el Materialismo Dialéctico e Histórico. Con esto, y salvo juicio en contrario que se debe demostrar también para refutar lo anterior, es para el autor posible introducir los conceptos de "campo entrópico material" y "campo entrópico social". Para su definición se justifica el que, así como las leyes y categorías del Materialismo Dialéctico y del Materialismo Histórico, por su carácter universal se cumplen cuando se estudia al ser material y al ser social, asimismo, la entropía, que en su connotación más abstracta es la expresión del movimiento en ciertas direcciones producto de desequilibrios, puede también ser disociada para expresar en lo material la trayectoria de los procesos materiales derivada de irreversibilidades por perturbaciones o desequilibrios respecto a la norma o situación estable, reversible o de equilibrio, actuando conforme a la leyes y categorías propias del ser material y expresar igualmente en lo social la trayectoria de los procesos sociales ante perturbaciones o desequilibrios que hacen irreversible el retorno a la norma o los parámetros de estabilidad o equilibrio actuando conforme a las leyes y las categorías específicas del ser social.

i) Por lo anterior, defino el campo entrópico material - como el conjunto de procesos materiales (que obviamente se encuadran en el cumplimiento de las leyes y las categorías del Materialismo Dialéctico) a los cuales se puede aplicar la noción de entropía.

ii) Del mismo modo, defino como campo entrópico social al conjunto de procesos sociales (que guardan una relación constante de cumplimiento con las leyes y las categorías del Materialismo Histórico) a los cuales se puede aplicar la noción de entropía.

iii) Por conclusión, la noción de entropía es una, abstracta, que se concreta según el tipo de movimiento que se dé en la realidad y que no pierde su esencia en la diversa variedad de fenómenos reales pero respeta, asimismo, la serie de rasgos - cualitativos diferentes en el conjunto de fenómenos reales, sean materiales o sociales y que, del mismo modo que un fenómeno social no pierde su nexo con lo que constituye un fenómeno material, de ahí la unicidad filosófica del Materialismo, así también la entropía como medición de algo que se da universalmente en la realidad, encuentra su justificación para intervenir tanto en los fenómenos puramente materiales como en los sociales.

C). Expresión del Segundo Principio de la Termodinámica en la Química, Biología, Psicología y Cibernética.

a) Química*

Del campo de la física clásica, la termodinámica forma parte integrante, al igual que la teoría cinética, la óptica y la teoría electromagnética. No obstante, la experimentación química fue determinante para la extensión por inducción de los principios 1o. y 2o. de la termodinámica en la propia física y en la química. Por tanto se puede, como ya se ha hecho, expresar la entropía en forma puramente física, pero dada la estrecha conexión de la física y de la química, intentaré unificar ambas disciplinas (entendiendo a la física como el campo de estudio de las leyes de la materia en su movimiento y las formas de expresión variables de esa materia, y la química como el estudio de la composición cualitativa a nivel atómico y molecular que adopta la materia ante cambios --- cuantitativos de la misma en el curso de su movimiento) y adoptar así una posición que explique someramente la interpretación molecular de la entropía y derivar de ahí el equilibrio químico y los cambios de entropía en las reacciones químicas.

* Fuentes utilizadas: G.M. Barrow: "Química Física", T.I, Ed. REVERTE, Capítulo 14.
G.W. Castellan: "Fisicoquímica"; Ed. Fondo Educativo Interamericano, S.A., Capítulo II. -

i) Interpretación molecular de la entropía.

El interés de los químicos por el segundo principio de la termodinámica tiene su origen en la posibilidad de que este principio indique casi siempre la posición de equilibrio en un proceso químico.

La entropía de un estado está relacionada con su probabilidad. Es ahora posible dar a este hecho una forma más cuantitativa.

La energía libre normal de una sustancia está determinada indistintamente por la relación termodinámica:

$$G^\circ = H^\circ; \text{ donde el símbolo } (^\circ) \text{ significa que es para un mol}^{(1)} \text{ a --} \\ \text{presión de una atmósfera.} \quad (1)$$

y por la relación molecular

$$G^\circ = E^\circ - RT \ln \frac{Q}{\pi}, \text{ donde } R \text{ es el trabajo de expansión y} \\ \pi \text{ es el número de Avogrado}^{(2)} \quad (2)$$

Estas dos interpretaciones de G° se pueden igualar y, como $H^\circ = E^\circ + RT$, se llega al resultado

$$S^\circ = \frac{E^\circ - E_0}{T} + R \ln \frac{Q}{\pi} + R \quad (3)$$

(1) Peso molecular de una sustancia en gramos

(2) Número de moléculas contenidas en una molécula gramo (6×10^{23})

Este resultado ofrece un camino por el que la entropía de las sustancias químicas se puede calcular a partir del conocimiento de la distribución de los niveles energéticos de sus moléculas. Se ha demostrado que el término $E^\circ - E_0$ es precisamente la energía térmica y que ésta puede evaluarse de la distribución de los niveles energéticos. La diferencia $E^\circ - E_0$ se puede calcular en valor absoluto y no depende, como si le ocurre a E° , de la energía que arbitrariamente se ha elegido como referencia. El término $R \ln (Q/\mathcal{N})$ se calcula de la distribución de los niveles energéticos. En esta forma la ecuación (3) conduce a la conclusión, que también se deriva del tercer principio de la Termodinámica, según el cual a la entropía, a diferencia de las demás magnitudes termodinámicas, es posible asignarle un valor absoluto.

Algunas de las consideraciones relacionadas con la interpretación molecular de la entropía, que se deducen de la ecuación (3), pueden alcanzarse en principio comparando dos estados de un sistema que poseen las mismas energías térmicas, o que ambos se encuentran en el estado de energía térmica igual a cero. Para estos estados especiales de A y B, la diferencia de entropía es sencillamente

$$\Delta S = S_B - S_A = R \ln \frac{Q_B}{Q_A} \quad (4)$$

La función de partición equivale a una medida del número de

niveles cuánticos⁽³⁾ posibles de un estado, o a la probabilidad de ese estado. La ecuación(4) conduce a los resultados cualitativos logrados ya, al intentar interpretar la entropía en función del número de estados permitidos. Además, ahora se pone de manifiesto que la relación ha de ser logarítmica.

Una interpretación más honda del origen molecular de las propiedades termodinámicas puede desarrollarse en este punto, si se acepta realmente como punto de partida el principio de que la entropía es proporcional al logaritmo de la probabilidad.

En efecto, se ha demostrado que la entropía de una sustancia puede relacionarse con su energía térmica y su función de partición. Esta dependencia puede derivarse también de una ecuación fundamental que relaciona la entropía con la probabilidad. Si W representa la probabilidad, la ecuación estadística que conduce a una función para la entropía, que es la misma entropía que se ha introducido como un concepto termodinámico, es

$$s = k \ln W \quad (5)$$

en la que el factor de proporcionalidad es R/γ = k , o constante de Boltzmann.

(3) Niveles de energía.

Si se opera ahora con esta importante ecuación estadística, se observa como puede establecerse con rigor la ecuación (3), para la entropía de un mol de una sustancia.

La probabilidad de una distribución de \mathcal{N} partículas en una serie de niveles energéticos permitidos, con multiplicidades g_i , queda determinada con la ecuación

$$\ln W = \ln \mathcal{N}! + \sum N_i \left(1 + \ln \frac{g_i}{N_i} \right) \quad (6)$$

Sin embargo, al deducirla se introdujo la hipótesis de que las partículas, o las moléculas, eran discernibles. Pese a que con esta hipótesis se llega a algunos resultados satisfactorios como es la ley de distribución de Boltzmann, no resulta consistente con la idea de que las moléculas, como las demás partículas de tamaño atómico, han de ser consideradas como indiscernibles. Como se puede comprobar fácilmente al escribir en fila una serie de números, tales como 1, 2 y 3 con diferentes ordenaciones, han de existir $N!$, en este caso $3!$ formas diferenciables de ordenar -- estos números.

Sin embargo, estas ordenaciones sólo tienen significado si los números son discernibles. Si éstos mismos se consideran como indiscernibles, 0 0 0, por ejemplo, el número de ordenaciones -- quedaría disminuido en $N!$ veces. Por tanto, para realizar el ---

cálculo correcto de la entropía de una colectividad de moléculas, resulta la ecuación

$$\ln W = \sum N_i \left(1 + \ln \frac{g_i}{N_i} \right) \quad (7)$$

En estas condiciones se debe especificar en qué forma las partículas están distribuidas en los estados permitidos, esto es, se ha de llegar a una ecuación de distribución que relacione N_i con g_i y E_i . Dentro de ciertas limitaciones se puede hacer uso de la ecuación de distribución de Boltzmann.

$$N_i = g_i N_0 e^{-E_i/kT} \quad (8)$$

donde (E) son los espaciados entre los niveles de energía.

Este método más riguroso de deducir la ecuación (3), permitirá comparar el valor de la entropía que se calcula con esta ecuación, que se basa en que $s = k \ln W$, con el que se obtiene termodinámicamente, a partir de $dS = dq_{rev}/T$. Entonces quedará demostrada la convergencia de estas dos descripciones complementarias de la entropía.

La posición que adopta una reacción química cuando alcanza el equilibrio, está directamente relacionada con su función termodinámica de energía libre. A su vez, la energía libre depende de los factores entrópico y entálpico. La entalpía, o sea la energía de una reacción química puede, en ciertos casos, interpretarse en re

lación con los niveles de energía permitidos a las moléculas que intervienen en la reacción. Aquí se intenta demostrar que también la posición de un equilibrio químico y la energía libre y entropía de las sustancias químicas pueden interpretarse de la misma forma. Aunque sólo este método se ha podido aplicar satisfactoriamente a sistemas químicos relativamente sencillos, el hecho de que se haya podido realizar el estudio, sobre base molecular, de las magnitudes termodinámicas más importantes, entropía y energía libre, tiene un valor considerable para los químicos.

ii) Interpretación molecular del equilibrio.

Considérese un equilibrio que se establece entre dos isómeros⁽⁴⁾ de un compuesto. Si los isómeros se representan por A y B, el equilibrio es



Para determinar la constante de equilibrio de una reacción auténtica a partir de las propiedades moleculares de los reactivos, sería necesario disponer de una información completa de los niveles energéticos de traslación, rotación, vibración y electrónicos de cada una de las moléculas. Al principio, es suficiente represen-

(4) Sustancias de igual composición química pero con propiedades diferentes.

tar la complicada distribución de los niveles energéticos, por series simplificadas de niveles, como se hace en el esquema de la figura 1.

Para determinar la constante de equilibrio, el aspecto fundamental del problema de la distribución de la energía molecular -- son los espaciados entre los niveles de energía, representados por ϵ_A y ϵ_B y la diferencia entre la energía del nivel más bajo permitido de cada molécula, representado por $\Delta \epsilon_0$. Esta segunda magnitud se ha considerado como la diferencia ΔE_0 entre las energías molares en el punto cero. Es ahora posible, con la supuesta distribución de niveles energéticos de la figura 1, demostrar que se puede determinar teóricamente la constante de equilibrio de la reacción.

Desde el punto de vista molecular, el problema de la posición del equilibrio entre A y B se puede plantear en la forma siguiente: Si un número bastante grande de moléculas están distribuidas entre los niveles de energía de la figura 1, ¿cuántas se sitúan en los niveles de A y cuántas en los niveles de B? A esta pregunta se puede responder haciendo uso de la ley de distribución de Boltzmann.

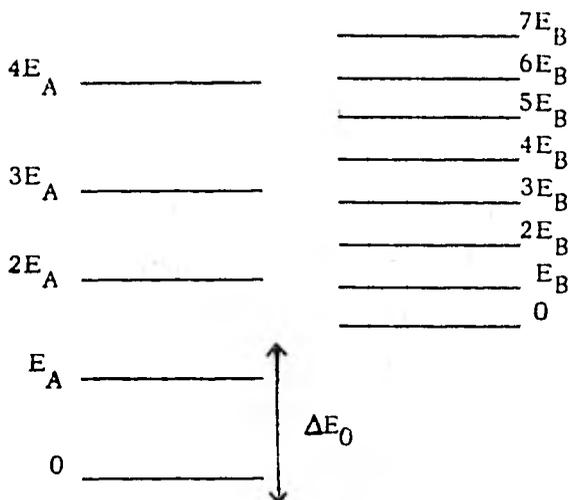


FIGURA 1

Niveles energéticos de las moléculas - hipotéticas A y B.

iii) Cambios de entropía en las reacciones químicas.

La variación de la entropía estándar en una reacción química se calcula a base de datos tabulados de manera análoga a la variación estándar de la entalpía. Sin embargo, hay una diferencia importante: a los valores de la entropía estándar de los elementos no se les asigna convencionalmente un valor cero. A base de la tercera ley⁽⁵⁾ se conocen los valores característicos de la entropía de cada elemento a 25° C y 1 atm de presión.

(5) Se refiere a la tercera ley o principio de la termodinámica, la cual supone que la entropía debe tener un valor de cero para los cuerpos que forman cristales perfectos (una forma teórica similar a la utilizada respecto a los gases perfectos, con el fin de facilitar el análisis).

Debido a que la entropía de los gases es mucho mayor que la entropía de las fases condensadas, en una reacción de este tipo - hay una disminución pronunciada de la entropía. A la inversa, en las reacciones donde se producen gases a expensas de materiales condensados, se presenta un gran aumento de la entropía.

b) Biología*

Es la totalidad del ser, la totalidad de las causas, que evidentemente no pueden ser abarcadas simultáneamente, la razón de que el "uno" sea parte, y al mismo tiempo resulte del "todo". - Esta es la situación que afrontan las construcciones científicas y que no pueden resolverse como tales si no están incluidas en un - contexto teórico único, dentro del cual los puntos de referencia -- también son únicos, permitiendo a la pluralidad estar presente en la unidad, y a ésta ser parte de aquella.

Esta y no otra es la razón por la cual la física, la cosmografía, y la biología como ciencia del origen y la evolución de la materia viva, encuentran puntos de referencia comunes que las justifican -- por separado y las integran al mismo tiempo como unidad.

* Fuente: A.L. Merani: "La Dialéctica en Psicología", Ed. Grijalbo, colección 70, No. 21.

La cinemática de los cambios de la materia está determinada por la entropía, cuya disminución señala, correlativamente, la -- disminución de los mismos. Un sistema que tiende al reposo se destruye; en el nivel biológico significa muerte. De este modo - la vida aparece como un proceso particular de frenamiento de la degradación universal de la energía. La autonomía de los sistemas y subsistemas que constituyen a un ser organizado protege el "orden" de los cambios "desordenados" en los procesos metabólicos de la materia previamente ordenada. Como destaca Schrodinger, el animal construye materia ordenada con la materia ya ordenada, el orden con el orden, mientras que el vegetal solamente -- puede hacer el orden con el desorden, con elementos aislados.

La tendencia a la nivelación termodinámica, esto es al orden sin cambios según el concepto de Boltzmann y Gibbs, significa -- eliminar las complejizaciones uniformando las formas de la materia. Se revela así en el plano de la psicología y de la filosofía - biológica la incapacidad como demostración de la "gestalt", para cuya teoría y práctica la "estructuración", con su efecto la "es-tructura", sería un fenómeno fijo, no sometido a transformaciones. La estructuración y la estructura son, por el contrario, procesos de cada instante, un momento dado en la actividad negantrópica(1) de la materia que se organiza.

(1) En la Teoría de la Información, la palabra "información" --

La complejidad de las estructuras que realiza la materia viva depende de la libertad energética - motriz- en relación con el medio. La ley de Van't Hoff y de Arrhenius explica que el sometimiento de la velocidad de las reacciones biológicas, y de su intensidad a la temperatura del medio, limita considerablemente la libertad del individuo en el medio que lo rodea; los seres poikiloterms, incapaces de mantener la constancia térmica de su medio interior pierden su libertad de movimiento durante los meses de frío; los mamíferos termorregulados, el hombre con ellos, defienden su existencia con la libertad motriz. Las autorregulaciones orgánicas los separan de los cambios energéticos del medio, en tanto que los poikiloterms son, fisicoquímicamente considerados, parte integrante del universo y siguen al medio en sus variaciones extremas.

Sumisión y resistencia frente a los cambios del medio son, so

tiene un significado especial: supóngase que inicialmente se encara un problema del cual no se tiene "información", y que hay P_0 respuestas posibles. Cuando se cuenta con alguna información, el número de respuestas posibles se reduce, y si se dispone de la "información" suficiente, puede darse una respuesta única. El efecto de incrementar la información es, por tanto, reducir la incertidumbre de una relación dada. En este sentido, la palabra "información" es la antítesis de entropía, ya que esta última es una medida del caos o desorden del sistema. Este contraste condujo a la creación de la palabra negantropía, para describir a la información. (Fuente: "Entropía y niveles energéticos"; R.P.H Gasser y W.G. Richards, Editorial el Manual Moderno, p.145). Acotación mfa.

bre el plano de la evolución, expresión de dos modos de complejización, de dos maneras de subsistir la materia viva. Vida significa diferenciación en relación con el medio, esto es autorregulación que reduce los intercambios directos. Y bien, cuanto más autorregulado es un organismo más frágil resulta fisicoquímica-- mente, y la complejización de los elementos evolutivos en la línea de un autocontrol de la energía desemboca en sistemas autónomos que mantienen el nivel del intercambio energético individuo-medio.

En los estados moleculares la evolución aparece como una tendencia que va de lo desordenado a lo ordenado; ya la combinación de dos átomos es una "estructura", una complejización; el comienzo de la actividad negantrópica. Morand afirma que desde el --- principio esta actividad debe presentar aspecto doble; por una parte, el punto de vista de la masa: la complejización de las estructuras espaciales ofrece seres físicos cada vez mejor estructura-- dos; por otra, el punto de vista energético: la complejización de las fuerzas crea un espacio cada vez más orientado. En lo físico se crea un espacio cada vez más orientado; se crean seres que evolutivamente progresan en un plan de disimetría gradualmente - más elevado (la estructura simétrica es el orden perfecto, la estabilidad del mineral cristalizado, el límite de toda evolución). En lo energético, las fuerzas nacen de la disimetría estructural y por lo mismo son actuantes: el equilibrio de fuerzas representa el 0

de cualquier actividad, el orden entrópico. En la materia inorgánica, como en las actividades menos organizadas de los seres vivos, los cambios responden al azar; los movimientos brownianos de una mosca desplazándose en un cielo raso - de un taxi circulando en una gran ciudad- son aleatorios, pueden ser reducidos a la misma expresión matemática por la ley del gran número. La complejización, por el contrario, elimina el azar porque introduce el orden.

Este punto de vista, que se considera siempre por excepción, es sin duda el más importante de todos. En el dominio de la materia, como en el espacio que la materia crea, el aumento de la interdependencia está en relación directa con el crecimiento de la complejización. La ley estadística deja de actuar y "todas las formas posibles" como "todas las acciones posibles" ceden el lugar a una sola forma adaptada, capaz de mantener niveles de energía propia que contrarresten la uniformidad energética a que tiende la entropía. Sumisión y resistencia a los cambios del medio son caracteres esenciales de la vida.

Aquí aparece, en primera y última instancia, la diferencia profunda que hay entre un cristal y una proteína viviente. El cristal tiende a alcanzar rápidamente un estado de simetría perfecta que detiene los intercambios energéticos; la proteína viviente, bajo la estructura de tejido tiene en un principio, teóricamen-

te, en un cultivo, crecimiento infinito. En la práctica, sin embargo, este proceso presenta un límite; aunque la alimentación de ese cultivo fuese posible llega un momento cuando los elementos menos "ordenados" del alimento con que está en contacto su periferia no pueden continuar llegando al centro. El frenamiento de este intercambio por falta de autorregulación energética entraña un frenamiento en la recepción de energía exterior y, consecutivamente, la muerte del cultivo, la degradación completa de la energía disponible por nivelamiento entrópico.

Este ejemplo, lleva directamente a otro problema: la individualización. Para que la materia escape en sus cambios al azar debe complejizarse. Complejización significa introducir un orden en el desorden de los elementos de la materia menos compleja.

Este orden anula la producción autónoma de energía, al fenómeno vida, si no hay un contacto continuo entre esa materia singularmente ordenada y materia menos ordenada. En los seres vivos tal contacto está expresado por el metabolismo, que no solamente significa intercambio energético sino también producción de energía. Es necesario dar energía para recibirla, la existencia de un desnivel entre producción y recepción para que el intercambio subsista, lo cual ineluctablemente lleva a la autorregulación, y es -- condición de ésta la individualización. Únicamente un sistema -- autorregulado anula al azar en los intercambios energéticos, da -

lugar al proceso de individualización. Estas tres propiedades - aparecen en los seres organizados tan estrechamente ligadas que resultan recíprocamente, y en relación mutua, causa y efecto a la vez. El fenómeno vida se explica a partir de cualquiera de esos tres factores y se define, en su hacerse, también a partir de cualquiera de ellos.

Producto de la complejización, la individualización lleva la materia a un nuevo nivel. Toda la actividad negantrópica que se ve desarrollarse a la materia viva se realiza en el plano de la biosfera y desemboca en el individuo, cuya integración representa un triunfo sobre la nivelación energética. Sin embargo, el individuo termina por ceder ante la entropía y muere, y es a través del conjunto de individuos, de las especies, que el proceso se continúa y adquiere estabilidad por un lapso enormemente mayor, hasta desembocar en líneas acabadas, de especies que alcanzan elevado grado de simetría y anulan las condiciones de entropía propia de la evolución. La extinción de una especie revela simetría estructural, complejización, autorregulación e individualización llevadas a un grado extremo.

Biológicamente considerada la especie humana constituye una -

línea evolutiva acabada; el grado de complejización, autorregulación y, sobre todo, individualización logrado señala que su disimetría es casi nula, fenómeno éste que ineluctablemente la enfrenta con la nivelación termodinámica: la extinción. De todas las líneas homínidas conocidas la nuestra es la única que continuó siendo entrópica; la última de las demás, la neanderthalensis, vio extinguirse sus postreros individuos cuando comenzaban a afirmarse los primeros sapiens.

c) Psicología.

Cualidad y cantidad aparecen, fuera del análisis mental, indisolublemente unidas, unión que por medio de la experimentación se nos revela a través de la categoría de medida. "La medida -escribió Hegel - es la unidad inmediata de la cualidad y la cantidad". Y es de particular importancia que tal unidad sea inmediata. En primer lugar porque con ello se revela una relación necesaria, propia de las categorías de cualidad y cantidad y no un nexo que introduce el intelecto que las estudia. En segundo lugar, porque esa unidad inmediata manifiesta que la cantidad de un cuerpo o fenómeno puede modificarse hasta cierto punto sin provocar un cambio cualitativo. Su carácter inmediato asegura, pues, la persistencia relativa del cuerpo o fenómeno.

Pasado este punto la cualidad cambia y el cuerpo, el fenómeno,

se transforma. Tomando el ejemplo del reflejo condicionado, el volumen medido de la salivación indica, a la vez, la relación de los aspectos cuantitativos - la cantidad no es medida- y cualitativos del fenómeno; dentro de ciertos límites de variación señala que el fenómeno es estable. Pasados esos límites en más o en menos se produce la transformación del condicionamiento o su desaparición. De este modo se encuentra que la medida no es inherente a la cantidad ni a la cualidad; no es el fenómeno que las relaciona y tampoco interviene en él, sino expresa la acción recíproca de los aspectos cualitativos y cuantitativos de un objeto o de un fenómeno. La categoría de medida se revela, así, como el proceso del pasaje de la cantidad a la cualidad y viceversa.

La cualidad corresponde a una categoría estrictamente determinada. No soporta adición ni sustracción. Cada ser es en la cualidad como la cualidad es en el ser. Al mismo tiempo una cualidad dada corresponde a una cierta cantidad, y la medida indica la relación entre ambas, o sea el pasaje de una a otra. Los cambios en la cantidad se revelan por cambios en la medida y se manifiestan con una nueva cualidad. De este modo cada objeto, fenómeno, es una medida en el sentido de que una cantidad determinada es función de su propiedad cualitativa, y recíprocamente. En términos correspondientes al planteamiento de la relación materia conciencia, la medida representa en la estructura y la organización

de las funciones del viviente el grado de entropía.

La regularidad del intercambio energético asegura la permanencia del sistema, si éste tiende hacia la simetría, o la asimetría, esto es sufre cambios en la cantidad, la cualidad se transforma. Cuando la acumulación de entropía alcanza el mínimo posible la cantidad se vuelve adinámica, no hay producción de energía; desaparece la cualidad, la medida es cero, y el sistema o el ser desaparece.

El pasaje de la acumulación cuantitativa del grado relativo al absoluto provoca cambios cualitativos súbitos. Es el salto dialéctico que da a los cambios cualitativos la apariencia de bruscos y aparentes, como si estuviesen libres de duración y transcurrir temporal. Aparece una transformación que expresa una de las propiedades fundamentales de la materia: su capacidad para pasar por la reestructuración de una forma cualitativa a otra. El salto representa una transformación entrópica fundamental: permite la continuidad de la evolución y reactiva en otro plano el proceso de intercambio energético. Es la destrucción de un sistema y la aparición de otro nuevo; en psicología, el pasaje de las formas biológico-conceptuales a las lógico-conceptuales en el pensamiento infantil, o la aparición de estructuras funcionales fijadas en la evolución de antepasados y que aparece por herencia, herencia de caracteres adquiridos, en el individuo.

Si no se acepta el pasaje de la cantidad a la cualidad; si a ésta se la suprime por identificación con la cantidad, ya sea considerada accidente o propiedad secundaria de la misma, se cae en la explicación mecánica y probabilística de los fenómenos psíquicos.

Si no hay calidades que representen la lucha contra la acumulación de entropía del viviente, la psicología queda al nivel de un biologismo evolutivo chato, simple enumeración de grados pero no de modos de complejización de la materia.

La conversión de la cantidad en cualidad, el pasaje entre ambas que señala la medida, asegura la integridad, la totalidad del ser como materia y conciencia, como objeto y sujeto, y explica cómo y por qué ese ser, que al evolucionar acumula entropía y debe desaparecer, escapa a la ley y llega a transformar la complejización evolutiva de la materia, un término de esa evolución, en conciencia que prolonga el proceso en otro plano.

El cerebro animal se moldea con la actividad; los neurodinámicos, las simbolias que de ellos resultan, dependen tanto de las trazas del pasado como de las huellas del presente y del significado futuro de su proyección. Desde el instante mismo del nacimiento, de antes con las estructuras heredadas, todo estímulo percibido se adecúa, transforma, adapta a estructuras neurodiná-

micas primero, simbólicas después, que lo transforman y a las cuales transforma al mismo tiempo. De manera dialéctica se produce una reelaboración del dato y una reelaboración del percipiente cuyo aspecto visible es la actividad del sujeto.

Aparte de eso el estímulo llega al percipiente previamente elaborado, puesto que el sujeto no está en contacto directo con el mundo natural sino a través de la sociedad. Estas elaboraciones responden, por ejemplo, a las necesidades de protección individual dentro del grupo, a las de protección de su clase, o de la sociedad toda. Antes de llegar al sujeto el estímulo está históricamente elaborado y condicionado, y de tal manera el principio mismo de la percepción, a pesar de su universalidad neurofisiológica, revela relatividad histórica en cuanto a contenidos y significados.

El equilibrio del medio interno, la conservación en su valor normal de las diferentes constantes fisiológicas del individuo, homeostasis y homeostasia, representan la base fundamental para el mantenimiento del fenómeno vida, el punto de arranque del proceso evolutivo y, además su conclusión.

Creadas las condiciones de existencia del viviente, sus manifestaciones primordiales tienden a la conservación del equilibrio - entre medio interno y medio externo. Por propia naturaleza el - medio interno tiende a ser relativamente uniforme, mientras que el externo, sobre el que actúa un número mayor de variables, se mantiene en permanente cambio. El medio externo determina al medio interno, y en consecuencia éste debe adecuarse a aquél. - Este estado de desequilibrio permanente provoca variaciones en - las constantes fisiológicas del individuo, variaciones que en la medida de su duración producen cambios cuya permanencia, mayor o menor, se traduce por adaptaciones- El camino de la evolución queda así abierto, por medio de adquisiciones individuales y colectivas, que al transmitirse por herencia o repetirse por persistencia de los factores causales, entrañan transformaciones del viviente.

Existe, además, una relación directa entre las transformaciones del viviente: sus acciones evolucionana y la praxis, la acción directa sobre el medio, resulta modificada. De este modo los cambios del medio transforman al individuo, y éste, nuevo ser cuya - evolución se expresa directamente por cambios de actividad, transforma a su vez al medio. La evolución asienta en una interacción continuada que tiene por fin alcanzar un estado de equilibrio.

Si el equilibrio se convierte en permanente se instaura la --

igualación energética de la entropía. Las formas del viviente - que lo realiza se detienen en sus transformaciones, sus especies se convierten en líneas evolutivas concluidas, y su evolución se paraliza. Gradualmente se extinguen por incapacidad biológica - de producir variaciones como respuestas a los estímulos del medio.

Sin una actividad entrópica del individuo o de la comunidad los días del viviente están contados. Por necesidad de estructuración la materia viva tiende al equilibrio con la materia inorgánica. El viviente que surge de la materia viva necesita, por el contrario, de una permanente relación de inestabilidad energética con el medio, lo que significa apropiación de la energía producida por éste, y producción propia de energía. Todas las funciones del ser organizado, regulaciones, autorregulaciones, tanto del organismo como complejo unitario, de sus sistemas y aparatos, apuntan a un fin común: producir energía, única manera de conservar un equilibrio propio del medio interno, diferente al equilibrio del medio externo. Tal es la actividad entrópica del viviente, que mantiene el desequilibrio imprescindible entre los equilibrios de ambos medios.

La actividad del hombre está dirigida a la apropiación de ma

teriales de la naturaleza para la propia vida. En general, es toda la actividad del viviente, a la que se denomina metabolismo. No obstante, en el género humano adquiere un matiz diverso porque se transforma en trabajo, esto es, en producción de materiales, y en cierto nivel de la historia la importancia recae sobre la construcción de medios de producción. La técnica representa un medio superior de apropiación de materiales. Su producción regulada y según necesidades, soslaya la relación metabólica animal, directa de individuo-medio y, por consiguiente, propicia un aumento en la acumulación de energía, o sea en la actividad entrópica del individuo de la especie.

De tal manera, la evolución de nuestra especie, detenida en el plano biológico como revelan los hechos de los tiempos históricos, se transfiere al nivel de la evolución cultural y social. La prueba está en que el hombre de Neanderthal, contemporáneo del Sapiens en los albores de éste, desapareció. Se puede afirmar que el Homo Neanderthalensis -lo corrobora la neuropaleontología- no alcanzó a superar el nivel intermedio entre el cerebro de los antropoides y el humano. En consecuencia, su línea biológica -concluida, cuando todavía la nuestra no lo era, se extinguió por equilibrio entrópico, por incapacidad para generar nuevas formas de energía.

El gran paso que libró al Homo Sapiens de idéntico destino

evolutivo fue la creación de la técnica, la invención de una nueva actividad entrópica que le permitió continuar la evolución sobre otro plano. La actividad sensomotriz es el índice común del plano evolutivo primario propio del hombre y del animal: la actividad conceptual destaca una actividad exclusivamente humana. El desarrollo conjunto y correlativo de mano, cerebro y lenguaje, -- permitió la elaboración de los mecanismos de la técnica.

Es el pensamiento, históricamente desarrollado, la resultante entrópica que resuelve el conflicto, de otra manera irreductible, - de la equilibración energética entre las regulaciones orgánicas y - las del medio, entre el individuo y el resto del mundo.

La dinámica del pensamiento en la especie se fusiona de alguna manera con la cinemática del pensamiento en el individuo por medio de un término que le es común: la "estructura funcional". Estos tres aspectos, dinámica, cinemática y estructura funcional subrayan la característica dialéctica profunda del pensamiento de ser al mismo tiempo efecto y causa. Efecto como consecuencia - de la disposición funcional de las diferentes partes que constituyen y organizan al sistema nervioso superior; causa, porque siendo sus partes dependientes del todo y por consiguiente solidarias - unas con otras, que constituyen las autorregulaciones del viviente y las acciones del medio, representa una superestructura funcio-

nal a cuyo nivel se establecen los valores de las regulaciones de las relaciones que constituyen la estructura básica del ser pensante, la base real - en la situación actual de la especie - sobre la cual se realiza la evolución del hombre.

La forma es la actividad autoestructurante en los diversos -- grados y niveles del pensamiento que organiza el nuevo plano de los intercambios energéticos de la especie y del individuo con el medio. La estructura resulta ser la relación de equilibrio establecida como necesidad de un nivel estable de acción y reacción, la ubicación del ser en el mundo de las cosas y de los hechos. Ineluctablemente la estructura termina en un proceso de nivelación y su efectividad entrópica se reduce en la medida en que el equilibrio se perfecciona, se establece como resultante. Es el momento en que la forma debe ser modificada o suplantada, porque de lo contrario se cae en el automatismo psicológico: repetición de un status aunque las circunstancias varíen, desaparición del viviente que piensa por degradación de la energía que origina a su pensamiento. Cualquier transformación de la forma entraña idéntico cambio en la estructura; un nuevo desequilibrio energético se instala y los procesos de intercambio se reanudan con dependencia de la nueva situación.

Este proceso repetido indefinidamente nos pone en presencia - de tres aspectos esenciales del pensamiento: oposición dialéctica

individuo-medio, proceso estructurante que resuelve en equilibrio la oposición individuo-medio, y finalmente proceso autoestructurante por medio del cual se trasciende la situación de equilibrio y se inicia un nuevo nivel de intercambios: la inteligencia, en nuestra concepción.

A la complejización de la materia viva en general el viviente añade, en relación con los diversos medios en que se despliega y la complejidad de su constitución en particular, nuevas regulaciones, y por último procesos de autorregulación que dan carácter específico a su actividad.

La inteligencia se revela, por consiguiente, como el proceso del pasaje de la cualidad a la cantidad y viceversa. Praxis y -- gnosis elaboran en interacción un pensamiento.

Para el encuadre dialéctico del pensamiento, el salto cualitativo resulta ineludible so pena de aniquilamiento y se establece, por la función de la inteligencia, que representa la cualidad de medida, el nexo propio necesario para la continuidad del proceso entrópico instaurado en nuestra especie por las estructuras funcionales del pensamiento.

En tanto la función del pensamiento es resolver problemas, - una función técnica, o sea poner los puntos de referencia en relación y de acuerdo con una lógica, comparar, ordenar y jerarquizar

zar situaciones y deducir según un mecanismo de correlaciones — existentes directa o probabilísticamente, resultados inmediatos o — mediatos aplicables. La función de la inteligencia es plantear problemas. En tanto el pensamiento estructura simetría, la intelli— gencia procura la disimetría.

d) Cibernética. -

La cibernética, como "ciencia que versa sobre el funcionamiento de los sistemas de acoplamiento,⁽¹⁾ tiene una ligazón específica con la entropía. Una ejemplificación de lo anterior puede ser tomada del libro de R. Ashby: "Introducción a la Cibernética"⁽²⁾ - cuando comenta a C.E. Shannon en su libro "Communication Theory of Secrecy Systems" y a N. Wiener en su libro "Cybernetics" respecto a la utilización que dan a la entropía en la regulación y permanencia de un sistema. Así, menciona: "Shannon ha ideado una medida para la cantidad de variedad mostrada por una cadena de - Markov en cada paso -la entropía- que, según se ha demostrado, - tiene fundamental importancia en muchos problemas relacionados - con la transmisión incesante.

(1) O. Lange: "Introducción a la Economía Cibernética", p. 7.

(2) W. Ross Ashby: "Introducción a la Cibernética", Ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1977, pp. 239 y s.s.

Para entender mejor lo anterior, me permito citar a Crosson y Sayre en su libro "Filosofía y Cibernética". (3)

----- Un mensaje puede estar constituido por muchos --
símbolos seleccionados del alfabeto -fuente. Supóngase que h_i, h_j
representan los símbolos sucesivos del mensaje, seleccionados --
del alfabeto-fuente $H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$, cada uno de los -
cuales tiene una probabilidad de ocurrencia fija e independiente. -
Entonces, la información total de cualquier mensaje particular se
rá la suma del contenido de información de todos sus símbolos -
componentes. La probabilidad de que se reciba cualquier cantidad
particular de información $I(h_i)$, es $P(h_i) I(h_i)$. Esto significa -
que si se pregunta cuál será, en general, la cantidad promedio de
información por símbolo a partir de esta fuente, la respuesta se-
rá la suma de esas probabilidades particulares:

$$\sum_H P(h_i) I(h_i)$$

"Esta cantidad es el núcleo de la teoría de la información; -
se le da el nombre de entropía de la fuente o cantidad promedio -
de información por símbolo,* y se simboliza mediante la letra S.
Este símbolo y el término "entropía" están formados de la termo

(3) Crosson, Frederick y Sayre K: "Filosofía y Cibernética", -
Ed. F.C.E, 1971, pp. 79 y s.s.

* Subrayado mío.

dinámica estadística, en donde se presenta una fórmula semejante:

$$S(H) = \sum_H P(h_i) I(h_i) = \sum_H P(h_i) \log_2 \frac{1}{P(h_i)} \text{ bits}$$

"Si todos los símbolos del alfabeto-fuente son igualmente probables, $S(H)$ será simplemente, por supuesto, la probabilidad de cualquier símbolo. Si no son igualmente probables, $S(H)$ será la cantidad estadísticamente promedio de la información.

"Tómese, como el ejemplo más sencillo, el lanzamiento de una moneda. Entonces $H = (\text{caras, cruces})$, y puesto que éstas son equiprobables, la probabilidad de cada una de ellas es el inverso del número total: $1/2$. De aquí que:

$$I(h_1) = \log_2 \frac{1}{P(h_1)} = \log_2 2 = 1 \text{ bit}$$

y la cantidad promedio de información por lanzamiento (mensaje):

$$S(H) = \sum_S P(h_i) \log_2 \frac{1}{P(h_i)} = (1/2 \times 1) + (1/2 \times 1) = 1 \text{ bit}$$

las fuentes del mensaje como las que se han estado examinando, en las que las probabilidades de cada símbolo son independientes y fijas, son llamadas fuentes de memoria cero. Como tales, son casos de lo que se llama "procesos estocásticos". Un proceso estocástico es un sistema que produce una serie de símbolos (que pueden ser, por supuesto, letras o notas musicales, en vez de --

palabras) de acuerdo con ciertas probabilidades.

"Pero, con mucho, la clase más interesante y útil de procesos estocásticos son los sistemas en los cuales las probabilidades de los símbolos producidos no son fijas e independientes, sino que son más bien una función de los símbolos previamente producidos o emitidos. A estos procesos estocásticos se les da el nombre de procesos Markov o cadenas Markov, por el nombre del matemático ruso que fue el primero en investigarlos.*

En un proceso Markov la probabilidad de ocurrencia de un símbolo particular h_i es una función de los símbolos m precedentes, y el sistema es llamado fuente Markov del orden m .

La probabilidad condicional de H_i se expresa como:

$$P(h_i / h_{j1}, h_{j2} \dots h_{jm})$$

y los símbolos $h_{j1}, h_{j2} \dots h_{jm}$ que determinan la probabilidad de h_i son llamados estadios del sistema. Dada esta expresión, las anteriores ecuaciones para $I(h)$ y $S(H)$ pueden escribirse

* En lo que se sigue se hará mención exclusivamente de las fuentes ergódicas de Markov, más bien que de las no ergódicas. Una fuente ergódica es una que "si se observa durante mucho tiempo, emitirá (con probabilidad 1) una serie de símbolos de fuente que es "típica": N. Abramson, Information Theory and Coding (nueva York: Mc. Graw-Hill, 1963), p.25 Pie de la página del autor, p. 81.

fácilmente para una fuente Markov por simple sustitución.

Es claro que una fuente Markov ejercerá coacción de sucesivos símbolos de mensaje con base en el estado del sistema, esto es, los símbolos previamente emitidos, y que, en consecuencia, disminuirá la cantidad promedio de información por símbolo. Esta última frase sólo significa que habrá menos incertidumbre de que (mayor probabilidad de que) sea emitido un símbolo particular cuando el sistema se encuentre en un estado post-inicial dado." - - - -

Regresando a Ashby: "Si un conjunto tiene variedad y si mediante algún proceso definido de muestreo se toma una muestra de un ítem del conjunto, los diversos resultados posibles de la extracción están asociados a diversas probabilidades correspondientes. Por ejemplo, si la variedad de las luces del tránsito es cuatro, y en ellas se dan las combinaciones

- 1 rojo
- 2 rojo y amarillo
- 3 verde
- 4 amarillo,

que duran 25, 5, 15 y 5 segundos respectivamente, un conductor que aparezca súbitamente a intervalos irregulares, encuentra las luces en los diversos estados con frecuencia de aproximadamente 42, 8, 42 y 8% respectivamente. Consideradas como probabilidades, éstas se convierten en 0, 42, 0, 08, 0, 42 y 0, 98. Así, -

el estado "verde" tiene (si se usa este método peculiar de muestreo) una probabilidad de 0,42; los otros estados se tratan en forma similar.

"Recíprocamente, cualquier conjunto de probabilidades, cualquier conjunto de fracciones positivas cuya suma sea 1, puede ser considerado correspondiente de algún conjunto cuyos miembros exhiben variedad. Siendo p_1, p_2, \dots, p_n , las probabilidades calculadas, el método de Shannon obtiene a partir de ellas una cantidad

$$-p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 - \dots - p_n \log p_n$$

que se llama entropía del conjunto de probabilidades;* la entropía se denota por medio de S .

"La entropía así calculada tiene varias propiedades importantes. En primer lugar, es máxima para un número (n) dado de probabilidades, cuando éstas son iguales. Por lo tanto, S es igual a $\log n$. En segundo lugar, S distintas procedentes de conjuntos diferentes, con cualidades convenientes, pueden combinarse para dar una entropía promedio.

"Una combinación de este tipo se utiliza para hallar la entropía correspondiente a una cadena de Markov. Cada columna (o fi

* Subrayado del autor.

la si está escrita en forma transpuesta) tiene un conjunto de probabilidades cuya suma es 1. Cada una de ellas, por lo tanto, puede proporcionar una entropía. Shannon define la entropía (de un paso de la cadena) como el promedio de esas entropías, asignando a cada una un peso por la proporción en que el estado que encabeza la columna se presenta cuando la sucesión ha establecido su equilibrio.*

"Se advierte ahora claramente que cuando las probabilidades están muy distribuidas, como en A de la Fig 1, la incertidumbre es mayor que cuando las probabilidades son compactas, como en B.

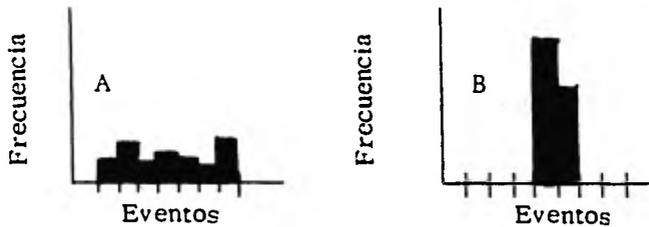


Fig. 1

"Por lo tanto, la recepción de un mensaje que hace que el receptor cambie sus cálculos acerca de lo que sucederá, de la distribución A a la distribución B, contiene una cantidad positiva -

* Subrayado del autor.

de información. Ahora bien, si $\sum p \log p$ se aplica a A, da un número más negativo que si se aplica a B; ambos son negativos, pero el valor absoluto de A es mayor. Por ejemplo, la sumatoria correspondiente a A podría dar -20 y la de B -3. Si se usa $\sum p \log p$ multiplicada por más 1 como la cantidad de información que debe asociarse a cada distribución, es decir, a cada conjunto de probabilidades, y como, en general: GANANCIA (de cualquier cosa) = cantidad final menos cantidad inicial, la ganancia de información es, por lo tanto, $(-3) - (-20)$, que es +17, una cantidad positiva tal como se quiere. Desde este punto de vista, que es el de Wiener, $\sum p \log p$ deberá multiplicarse por +1, es decir, no debería cambiar su signo; lo que se calcula es entonces la ganancia.

Evidentemente, no existe verdadera discrepancia entre ambos métodos."

D) Comentarios al Capítulo.

Por lo que se ha expuesto tanto a nivel de lo general (Materia_ lismo Dialéctico e Histórico) como de lo particular (Química, Bio_ logía, Psicología y Cibernética), la entropía guarda un nexo analó_ gico en ambos niveles. Ahora bien, la forma en que es aplicada y el contenido que se le dé varían según el tipo de expresión con_ creta que analice cada ciencia en especial, aunque el concepto de

desequilibrio como fuerza motriz en el desarrollo de un proceso y el concepto de equilibrio como valor límite (irreal en la práctica) para cualquier proceso, subyacen como coordenadas de definición.

Conviene hacer una breve digresión respecto a la cuestión del equilibrio. Este concepto, este valor, nunca se dá en lo real: se introduce teóricamente para facilitar el análisis tomándolo como punto de referencia límite, y como se ha visto al hablar de -- termodinámica en el primer párrafo de este capítulo, lo que tiene validez real para la técnica son los procesos cuasiestables. Es en este sentido que se puede hablar de "equilibrio" en química, en biología, etc, precisamente, concebido como cuasiestabilidad, como cuasiequilibrio. Así por ej, en la química el equilibrio molecular debe ser concebido como equilibrio relativo o cuasiequilibrio; relativo porque la interacción del sistema (reacción química en "equilibrio) con el medio externo hará que se produzcan fluctuaciones que dependan tanto de la propia inestabilidad interna como de factores casuales externos, lo que se traducirá en una duración -- determinada de lo que superficialmente se puede considerar equilibrio. En la biología el cuasiequilibrio determina conforme transcurre el tiempo en cierta medida los caracteres heredados de los que se habló a nivel de estructuras biológicas simples o complejas. La complejización efectivamente reduce la entropía del siste

ma considerado al aumentar el poder de regulación bajo ciertos - parámetros del medio interno y externo, pero el "salto" dialéctico del que habla Merani por superación de la cualidad a través de la cantidad y que de no producirse provoca la "muerte" del sistema, en realidad debe tomarse, considero, como "muerte relativa", en función de que siempre habrá ciertos caracteres que permanezcan. En el caso del neanderthalensis, como especie que "murió", cabe preguntarse si no generó a su vez procesos correlativos de vida en otras formas de homínidos. Efectivamente la especie desapareció como tal, pero generó conexiones de vida que tal vez se heredaron en forma mínima en otros homínidos, pero se realizaron. - En el decurso de la historia, tal vez se hayan reducido más, pero subsisten. Esta suposición puede interpretarse en forma idealista pero en realidad no guarda tal carácter porque no está considerando la "vida ideal" después de la vida material, sino la multiplicidad de interconexiones que caracterizan históricamente a cualquier proceso o sistema que se considere en su relativa dimensionalidad como "presente". Por tanto, la "muerte" es relativa y absoluta. Relativa porque lo que vivió hereda factores de vida, de complejización, de cambios futuros cualitativos; y es absoluta porque efectivamente el ente, el sujeto, desapareció dentro de sus parámetros espacial-temporales de existencia.

Para la Cibernética se debe hablar igualmente de "cuasiequili

brio", dado que las probabilidades de información nunca son iguales a 1, a consecuencia precisamente del carácter probabilístico de la información. Esto no excluye que para ciertos procesos de información se tenga una certeza de 1, como puede ser el caso del computador más complejo que realice la operación aritmética más simple; sin embargo, esta necesidad de que se dé el valor de certeza 1 incluye ciertos parámetros de funcionamiento (circuitos perfectamente integrados, programación óptima, etc) que pueden darse, pero a su vez están "necesariamente" sujetos a factores casuales.

Hechas las acotaciones anteriores, puede decirse que la forma común de particularizar al segundo principio de la termodinámica en cada ciencia reviste el carácter de probabilidad, como posibilidad de medir el desequilibrio o cuasiequilibrio en los procesos reales. A la vez, conforme la materia de estudio de cada ciencia se va complejizando, la entropía de los procesos a explicar encuentra en el marco conceptual de la Cibernética un instrumento adecuado para reforzar la clarificación de aquella, dado que hay en los conceptos cibernéticos un apoyo alternativo para la mejor comprensión del papel que la entropía juega en cada fenómeno, con lo cual se enriquece la investigación de la forma y el contenido tanto del fenómeno a explicar en los desequilibrios propios de su movimiento, como de la propia entropía y su grado de apli-

cabilidad en la teoría y la práctica de cada ciencia.

A este fin, en el siguiente capítulo se introducirán las nociones básicas de la Cibernética como "teoría de la regulación y estabilidad de los sistemas acoplados" y su relación analógica con la entropía. Esto tiene a su vez como objeto preparar el campo para conceptualizar la relación procesos ergódicos, anti-ergódicos y entropía y su nexo con el proceso económico, y de éste, con el proceso de reproducción y acumulación del capital en el modo de producción capitalista, lo cual se llevará a efecto en el capítulo IV de este trabajo.

C A P I T U L O III

SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA; NEXO - ANALOGICO CON LA "TEORIA DE LA REGULACION Y ES- TABILIDAD DE LOS SISTEMAS ACOPLADOS". *

A) Termodinámica y noción de Sistema y Elemento Activo

Un sistema es considerado como un conjunto de elementos, -
así como el conjunto de relaciones entre ellos. Así, en la termodi-
námica los elementos son aquellas partes del universo físico cuyas -
propiedades se están investigando. Los elementos activos (entendi-
dos como objetos materiales que dependen de una manera determina-
da de otros objetos materiales y actúan de un modo determinado -
sobre otros objetos materiales, denominándose a ese conjunto de
objetos materiales medio ambiente del elemento dado), son el con-
junto de cuerpos sobre los cuales actúa el primer principio, o -
sea la conservación y la transformación de la energía, y el segundo
principio, o sea la entropía (como medida del grado de reversibili-
dad o irreversibilidad que en el intercambio energético tiene un -
fenómeno). Así, en un sistema termodinámico se dan un conjunto

* Los conceptos que se exponen en este capítulo respecto a la "Teo-
ría de la regulación y estabilidad de los sistemas acoplados", se en-
cuentran en forma más o menos amplia en el Anexo I de esta Tesis, -
que abarca los párrafos de Sistemas, Regulación, Estabilidad y Pro-

de valores de entrada y de salida sobre un objeto material determinado por las características del medio ambiente y sobre los cuales (el objeto y el medio) actúan los dos principios mencionados anteriormente.

B) Termodinámica y noción de Transformación y Acoplamiento de Elementos Activos

En Cibernética**, una transformación es la relación entre los estados de entrada y los de salida, por la cual al conjunto de valores admisibles de los estados de entrada, le corresponde un conjunto de valores admisibles de los estados de salida, al actuar sobre un elemento E. En termodinámica, el término transformación es un conjunto de estados cambiantes del sistema que se considera, el cual va ligado estrechamente al concepto de proceso, por el cual se entiende que un sistema termodinámico sometido a un cambio de estado (gaseoso, líquido o sólido) regresa o no a su estado inicial. Por lo tanto, una transformación termodinámica es un conjunto de estados cambiantes del sistema que se considera, por lo cual en el curso del tiempo el sistema regresa a su estado inicial (transformaciones reversibles), o no regresa a él (transformaciones irreversibles). Los parámetros de estado (volumen, presión, temperatura) para un proceso dado pueden medirse y de este modo quedan definidos los valores de procesos ergódicos autoconducidos por lo cual si se quiere abundar en cuanto al contenido de lo vertido aquí, será conveniente referirse al Anexo en cuestión o a las obras que lo han conformado.

** En adelante, cuando se mencione el término Cibernética, deberá -

las entradas y las salidas en la transformación. El principio de la conservación y transformación de la energía establece una ligazón univoca entre todas las formas de energía en sus procesos y sus transformaciones mutuas, como pudo observarse en el Capítulo I de esta tesis. El principio de la entropía va ligado intrínsecamente al concepto de transformación y establece el grado de desequilibrio energético por el cual se pasa de una forma de energía a otra.

-Por lo anterior se puede constatar la analogía existente entre el término transformación tanto en Termodinámica como en Cibernética. En esta la noción abarca cualquier tipo de sistemas, en Termodinámica el concepto se concreta a los sistemas donde haya intercambio energético aunque la noción de desequilibrio dada por la entropía, puede extenderse a sistemas que no sean necesariamente físicos o químicos, pudiendo complejizarse a sistemas de tipo biológico, psicológico o más aún, en la interacción de las relaciones sociales, a procesos económicos, como es el intento de esta Tesis.

- Por lo que se refiere al acoplamiento de elementos activos, definido en Cibernética como los componentes de la salida (E_1) que son transformados en componentes de la entrada de (E_2). en Termodinámica éste se cumple por ejemplo para el trabajo de expansión, donde el trabajo contra las fuerzas de la presión exterior incrementa la variable "volumen" ----- entenderse como se utiliza aquí, es decir, expresada como "Teoría de la Regulación y Estabilidad de los Sistemas Acoplados o Sistemas de Acoplamiento".

del sistema, es decir: $dL = pc f(dx)$, donde $f(dx)$ es igual a dV ; por tanto, para trasladar la superficie f del cuerpo a la distancia dx , será $dL = pc f(dV)$. En este caso, el elemento (E_1) (aumento del volumen) es la salida del sistema a consecuencia de un incremento de la presión (E_2); ésta ocasiona un trabajo de expansión contra el medio externo que provoca un incremento del volumen (E_1) actuando sobre (E_2) (decrementando la presión). Por tanto, las salidas de (E_1) (aumento de volumen) actúan en el sistema como entradas de (E_2) (decremento de la presión al realizarse el trabajo de expansión). A su vez, las entradas de (E_2) actúan sobre (E_1) decrementando el volumen, por lo cual los elementos del sistema están en retroalimentación (el aumento de presión actúa en el medio incrementando el volumen, lo que a su vez actúa sobre la presión decrementándola). Para incrementar nuevamente el volumen, la presión actuante (E_2) debe superar a la presión original a consecuencia del incremento de V , lo que ocasionará nuevamente el ciclo $\Delta p \rightarrow \Delta V$. Si en el sistema no interesara la cantidad que debe incrementarse p , para incrementar V , entonces los elementos estarían acopiados en serie, es decir: un determinado Δp ocasiona un Δ volumen, el cual se puede incrementar para provocar un aumento del volumen de (E_3), que en este caso se encontraba inactivo hasta que surgieron las condiciones de (E_2); (E_3) a su vez se puede retroalimentar con (E_1), para que a través de (E_2) se incremente.

-De cualquier modo, se cumplen las condiciones que la teoría de sistema

mas contempla respecto al acoplamiento de elementos activos, tanto en lo que se refiere al acoplamiento en serie como a la retroalimentación, tanto en lo que se refiere a la concretización del primero como al segundo principios de la Termodinámica, con lo cual se comprueba el isomorfismo que existe entre las condiciones de ésta y los enunciados y condiciones que plantea la Cibernética o su expresión particular como Teoría de la Regulación y Estabilidad de Sistemas Acoplados.

C) Termodinámica y nociones de Estructura, Modo de Acción y Desarrollo de un Sistema.

En Cibernética se parte de la hipótesis de que cada elemento de un sistema está acoplado cuando menos con uno de los otros elementos del sistema, o al menos uno de los otros elementos del sistema está asociado con el elemento dado. Por tanto, no hay elementos aislados. es decir, elementos que no están acoplados con cualquier otro elemento ni tienen otro elemento acoplado con ellos. La red de acoplamientos entre elementos de un sistema recibe el nombre de estructura del sistema. El modo de acción es una característica del sistema considerado como un todo, en tanto que depende no sólo del modo de acción de los elementos individuales (los cuales constituyen "una ley de movimiento" dada por la transformación de los estados de entrada y salida de los elementos) sino también de la estructura del sistema, es decir, de la red de acoplamiento de los elementos. Los mismos ele

mentos con modos de acción iguales, pero acoplados de manera distinta constituyen un sistema diferente con un modo diferente de acción del sistema. Una diferencia en la estructura implica una diferencia en el modo de acción del sistema. El desarrollo de un sistema supone que la acción de los elementos del mismo ocurre en el tiempo. Entre un cambio en el estado de las entradas de un elemento y un cambio en sus salidas transcurre un cierto lapso que se denomina tiempo de reacción del elemento. Es solamente después de que ha transcurrido este tiempo cuando el estado de todas las salidas queda determinado completamente, y a su vez determina (por medio de los acoplamientos de los elementos) el nuevo valor de los estados de entrada de los elementos del sistema. Teóricamente se puede hacer la acción de un sistema discreta o continua: en forma discreta, el desarrollo del sistema depende de los valores de los estados de entrada y salida en un cierto número finito de momentos iniciales contenidos en el intervalo inicial del tiempo; en la acción continua, el desarrollo depende de todos los valores en el período continuo inicial. Así, si se conocen los estados del sistema en los momentos iniciales o en el intervalo inicial de tiempo, el desarrollo completo posterior del sistema está determinado.

- En Termodinámica hay una analogía con los conceptos dados anteriormente. El concepto de estructura, como la red de acoplamientos entre los elementos de un sistema, se corrobora dentro del pri

mer principio de la Termodinámica en el caso de una corriente, - donde los cambios energéticos que hay en ella se explican a través de los acoplamientos existentes en las variaciones de los elementos siguientes: trabajo que se gasta en impulsar al flujo, en variar la energía cinética de la corriente, en variar la energía potencial del flujo, en vencer las fuerzas del rozamiento, y en trabajo técnico.

-Para el segundo principio de la Termodinámica viene dada la red de acoplamientos entre los elementos del sistema a través de los cambios en las entradas y salidas en los parámetros termodinámicos (presión, volumen, calor, temperatura, etc.) de los elementos que constituyen un sistema macroscópico termodinámico, de tal modo que se puedan expresar en forma de transformaciones los cambios en la entropía del sistema o cambios en los parámetros, lo que indica la serie de acoplamientos existentes entre ellos mismos y que definen a los sistemas reversibles e irreversibles, o en equilibrio y desequilibrio, y las características de las transformaciones y acoplamientos que determinan el que un sistema y sus elementos se encuentren en equilibrio o desequilibrio, es decir, que le den valores a la función $dS \geq 0$, o bien a la integral $\oint dS \leq 0$. El modo de acción de un sistema para el primer principio de la Termodinámica se expresa como un todo en la ecuación del primer principio de la Termodinámica a través de los acoplamientos necesarios en los elementos del sistema (trabajo de im-

pulsión, de variación de la energía cinética y de la potencial, de vencimiento a las fuerzas de rozamiento y trabajo técnico), de tal forma que expresen el porqué de las variaciones energéticas interelementos y la constancia de la energía total del sistema - considerado. Asimismo, cada elemento del sistema tiene su modo de acción específico; por ejemplo: el trabajo de impulsión está directamente vinculado a la presión existente, que a su vez depende de parámetros como calor y temperatura, lo que ocasiona una variación en el volumen, y éste, en la presión resultante - del medio interno y del medio externo. La unión de los modos de acción propios de los elementos y el modo de acción del sistema, como un todo (su estructura global), determina el movimiento, sus causas y efectos del propio sistema. Esto último se podría expresar diciendo que el modo de acción del sistema como un todo es la potenciación o la multiplicación de las matrices de acoplamientos o redes de acoplamientos de los elementos en sus interacciones como partes y como todo.

- En lo tocante al segundo principio, es posible dar una interpretación semejante a la anterior respecto al modo de acción del sistema en equilibrio o desequilibrio. La entropía de un sistema - macroscópico viene definida por la red de acoplamientos del sistema como un todo a través de sus elementos (presión, volumen, calor, temperatura, etc.) en su interacción, lo que determina un estado bien de desequilibrio o de equilibrio del sistema, y un deter

minado valor de la entropía. De la misma manera, cada elemento del sistema (presión, volumen, etc.) tiene a su vez una red de acoplamientos como parte con otros elementos del sistema, pudiendo explicitarse ésto diciendo que, por ejemplo, las condiciones que en el sistema guarda la presión, ejercen una serie de acoplamientos con el resto de los parámetros termodinámicos o elementos del sistema, lo que define la estructura del elemento presión y a través de aquella, definir la entropía del sistema en función de la presión actuando sobre los otros elementos del mismo. Por tanto, el modo de acción del sistema en equilibrio o en desequilibrio y los valores de la entropía que lo definen, son resultantes de la red de acoplamientos de la estructura del sistema como un todo y su movimiento a causa de esa estructura, así como de la estructura de los elementos del sistema en su interacción con ese todo y con el movimiento que cada elemento guarde respecto a su propia estructura. De lo anterior, respecto al modo de acción del sistema, bien en el primero como en el segundo principios termodinámicos, cabe la acotación que se ha hecho al principio de este párrafo: - los mismos elementos con modos de acción iguales como partes, pero acoplados de manera distinta como todo, constituyen un sistema diferente con un modo de acción diferente del sistema.

- Respecto al desarrollo de un sistema, el cual supone que la acción de los elementos del mismo ocurre en el tiempo, y que en función del tiempo de reacción de los elementos es posible determinar

el desarrollo posterior del sistema, en lo que toca al primero como al segundo principios de la termodinámica es posible encontrar una vinculación analógica. En efecto, tanto la estructura del sistema concebida como la red de acoplamientos entre los elementos, y el modo de acción del sistema en tanto que la interactuación de las estructuras de los elementos como partes y como todo, (vinculados párrafos arriba para los principios primero y segundo de la termodinámica), llevan implícita su acción en el tiempo, pues de otra manera no sería posible su existencia real. Tanto la ley de la transformación y conservación de la energía, como la entropía, transcurren en el tiempo; se objetivan a través de él; se presentan en un universo de fenómenos que en función del movimiento de los mismos, tienen necesariamente una actuación temporal y por lo tanto una duración.

- Así, los fenómenos que abstraídos como sistemas se conjugan en la forma y el contenido de los dos principios termodinámicos, al tener movimiento y duración son susceptibles de caracterizarse como previsibles en cuanto a su desarrollo posterior en tanto sea posible conocer de manera más precisa sus tiempos de reacción como sus estructuras y modos de acción.

D) Termodinámica y noción de Regulación, Sistema Regulado, Sistema Regulador, Retroalimentación, Norma, Control y Perturbación.

En Cibernética, se denomina regulación a toda estructura - (o red de acoplamientos como se ha visto en el párrafo anterior) compuesta de un sistema sobre el que se ejerce un determinado tipo de control (sistema regulado) y un sistema que efectúa las transformaciones necesarias para mantener en el sistema regulado un - comportamiento determinado (sistema regulador). A la acción re- versiva de este tipo, es decir la acción que ejecuta el sistema regulador sobre el sistema regulado, se le denomina retroalimenta - ción, que se establece entre el sistema regulador y el sistema regulado. Se indicará por norma al valor fijo deseado del estado de la salida del sistema regulado, para lo cual es necesario un ajuste - adecuado del sistema regulador, de tal modo que produzca la com- pensación de toda desviación del estado de la salida del sistema regulado respecto al valor fijo, y reduzca el estado de la salida del - sistema regulado a la norma dada, la cual puede ser constante o - variable. Por control debe entenderse la determinación de la nor- ma variable del sistema de regulación, o lo que es lo mismo, cuál de todos los posibles subconjuntos en el repertorio de la salida del sistema regulado es el que ha de registrarse.

Por lo anterior, la regulación consiste en la corrección de - las desviaciones del estado de la entrada del sistema en cada valor respecto a su norma variable. La regulación corresponde entonces a la compensación de las desviaciones respecto a la norma, cuyo valor en cada caso está determinado por el control.

Por perturbación se entiende al conjunto de modificaciones - que el medio ambiente introduce en las entradas y salidas de los - elementos de un sistema, considerándose a ese medio ambiente, - como un conjunto de elementos activos de diversos sistemas que a través de ciertas transformaciones inciden y determinan al siste - ma considerado. El control toma así la forma de ser un proce - so de eliminación, de incremento o atenuación de esas perturbaciones por medio del sistema regulador.

- Referente al primero y segundo principio de la Termodinámica, - la regulación (como estructura compuesta de un sistema regulado - y un sistema regulador) se manifiesta de la siguiente manera: en el principio de la conservación y transformación de la energía, to - mando como ejemplo el trabajo de expansión en el cual el trabajo - contra las fuerzas de la presión exterior incrementa la variable - volumen del sistema, ambas variables pueden considerarse como - sistemas regulados y sistemas reguladores, en función de que la - presión existente determina el volumen de un gas, por ejemplo, y el volumen de éste actúa a su vez sobre la presión, determinándola. Así, la presión o el volumen se constituyen en sistema regulado - al convertir los estados de sus entradas en estados de sus salidas mediante una función de transformación cualquiera. Como siste - ma regulador, las variables consideradas influyen una sobre otra, - limitando los estados de las salidas a sólo un subconjunto del reper - torio posible de ellas. Ejemplificando esto último, el volumen re-

sultante al final de un proceso de interacción depende de las condi ciones en las cuales actúa la presión, considerada como sistema - regulador, y viceversa.

-Para el segundo principio de la Termodinámica, que expresa la - propiedad que un sistema tiene de cambiar siempre en una direc - ción o en su opuesta cuando el sistema sufre una transformación - natural o "no natural", la dirección que el sistema adopte se pue - de considerar como sistema regulado o regulador. Para el primer caso depende de la serie de transformaciones que la determinen; - para el segundo, o sea como regulador, la entropía actúa sobre el - fenómeno determinándole parámetros en su dirección.

- La retroalimentación, como acción reversiva del sistema regula - dor en el sistema regulado y viceversa, se cumple para los dos - principios de la termodinámica. Utilizando los ejemplos de los pá - rrafos anteriores, la presión se encuentra retroalimentada con el - volumen y éste con la presión. Para la entropía la dirección que - siga el fenómeno está en retroalimentación con las caracterfsticas termodinámicas del fenómeno.

- Cabe aquí hacer la aclaración de que la retroalimentación entre - el sistema regulador y el regulado, y viceversa, pueden ser de carác - ter positivo o negativo. Como retroalimentación positiva, el siste - ma que actúa como regulador interviene en las salidas del sistema - regulado aumentando las desviaciones respecto a un valor fijo, o más

bien, la norma del sistema consiste en el incremento en cierta proporción de las desviaciones. Como retroalimentación negativa, el sistema que actúa como regulador interviene en las salidas del sistema regulado disminuyendo las desviaciones respecto a la norma.

- Tocante a la norma (considerada como al inicio del párrafo se hizo), en el principio de transformación y conservación de la energía, viene dada como la conservación de la energía total del sistema considerado, tomando en cuenta la serie de transformaciones que éste sufra por efecto de perturbaciones habidas en el medio ambiente con el cual se encuentra en contacto el sistema. En el segundo principio de la Termodinámica, la norma viene dada por el carácter reversible o irreversible del fenómeno considerado y por la duración de la irreversibilidad del mismo. Lo anterior se puede expresar diciendo que la norma está en función de las perturbaciones que en el sistema o fenómeno determinen la desigualdad de la función S , o sea $dS \neq 0$, que significa el grado de equilibrio o desequilibrio del sistema o fenómeno y la duración de la desigualdad por efecto de las perturbaciones.

- El control se manifiesta en el principio de transformación y conservación de la energía como las características que cada tipo de trabajo (impulsión, de producción de energía cinética, trabajo de rozamiento, etc.) tiene respecto a su entorno y a su transformación.

ción en otro tipo de trabajo, por lo cual cierto sistema o fenómeno cae en el ámbito de los reguladores o controladores de cada tipo de trabajo, y lo mantienen en él hasta que se producen perturbaciones que modifican el tipo de trabajo específico y lo convierten en otro tipo de trabajo, con otros controles determinados.

- En la entropía, el control se expresa como la serie de características reguladoras respecto a cierta norma, que hacen que el fenómeno considerado se mantenga en equilibrio o en desequilibrio durante cierto tiempo hasta que, con la aparición de perturbaciones superiores a los controles que cada estado termodinámico tiene, se produce un cambio en el sistema lo que genera nuevos desequilibrios y equilibrios, y por tanto, nuevas formas de regulación, normas y controles.

- Las perturbaciones definidas al comienzo de este párrafo, son inherentes al primero y segundo principios termodinámicos en tanto que son manifestaciones del movimiento de los fenómenos y por ende manifestaciones naturales, causa y efecto del propio movimiento. La atenuación, eliminación o incremento de las perturbaciones es el objeto de la regulación y el control que tiene cada fenómeno de la realidad.

E) Termodinámica y noción de Dinámica de los Procesos de Regulación (estabilidad, regulación en el tiempo, retroalimentación compensadora y retroalimentación acumulativa; inestabilidad; error

de regulación; desviación estática del sistema; autocontrol del sistema; equilibrio del sistema), Eficiencia de la Regulación, e Inflexibilidad del Sistema.

En Cibernética, la dinámica de los procesos de regulación viene explicitada por el hecho de que las reacciones que se dan en el sistema de regulación requieren cierto tiempo. Entonces, las entradas y salidas del sistema tienen que ser fechadas. Se puede poner por caso que sobre el regulador en un cierto período t , actúa el valor de la salida del período $t - 1$, es decir, el valor de la salida del período anterior. En otras palabras, se parte de que existe cierto retraso de la acción del regulador en el tiempo y con ello se puede considerar esta tardanza como la unidad para medir el tiempo. Así, puede haber procesos de regulación discretos o continuos según si el retraso de la acción del regulador adquiere valores de reacción simultánea (proceso continuo, cuando $t - 1 \rightarrow 0$) o no simultáneos o con "saltos" en el tiempo (proceso discreto).

La estabilidad se puede definir diciendo que si el desplazamiento que se da en un conjunto de operandos (u objetos sobre los que se aplican factores dados) por la acción de un operador (entendiendo por éste a los factores dados aplicados al operando, y como transformada aquello en lo que se transforma al operando), o lo que es lo mismo, la perturbación que sufre un sistema al pasar de un estado a otro por la acción de ese operador, no genera nuevos -

estados que no se encuentren previamente en dicho conjunto, puede considerarse que tal conjunto es estable con respecto a la transformación. La condición de estabilidad del sistema de regulación es que la potencia (entendiendo como potencia de una transformación a la aplicación reiterada de la transformación en el conjunto de operandos) del regulador sea menor que la potencia del sistema regulado. En tal caso se dice que existe una retroalimentación compensadora, ya que disminuye las perturbaciones que aparezcan en el sistema, e induce a éste a un acercamiento al estado de equilibrio. En el caso de una retroalimentación no compensadora (acumulativa) a resultas de que la potencia del regulador es mayor que la inversión de la potencia del sistema regulado, se producirá un aumento de las perturbaciones que aparezcan en el sistema y por ende, un alejamiento del estado de equilibrio.

La inestabilidad se define como la generación de nuevos estados que no se encuentran en el repertorio del sistema a causa de la acción del operador sobre los operandos. En otras palabras, la inestabilidad es el alejamiento del sistema respecto a la norma, de tal modo que para regresar al estado de equilibrio por parte de aquel deben existir ciertos parámetros que permitan o bien mejorar el valor ajustador (alimentación de la entrada del sistema regulado), o bien incorporar al sistema un regulador suplementario. Fuera de esos parámetros el sistema "muere" como tal en lo concreto de -

su realidad. Su inestabilidad se traduce en la desaparición del sistema objetivamente dado en los parámetros de su realidad y en la aparición de sistemas con nuevos parámetros de existencia objetiva y por tanto con nuevos reguladores determinados bajo las nuevas condiciones concretas dadas. A la diferencia entre el nivel alcanzado por un sistema estabilizado y la norma, se le denomina desviación estática del sistema o bien error sistemático.

Las "características internas" de un sistema determinan su "ley interna de movimiento", que se expresa en la dirección del transcurso de sus estados de la salida típica para ese sistema. Son las características internas las que determinan la propiedad de autoeliminación de las desviaciones oscilatorias de la tendencia o dirección que sigue en su acción el sistema. Se dice que tiene lugar el autocontrol del sistema cuando las oscilaciones desaparecen con el tiempo y las desviaciones de la dirección se anulan paulatinamente.

El equilibrio de un sistema se define como el valor o los valores (según sea estacionario o móvil) a que tiende en su acción ese sistema para continuar conservando sus "características propias" - que lo definen como tal y no como otro.

Por eficiencia de la regulación se considera tanto la velocidad con que se eliminan las perturbaciones y el sistema se acerca al equilibrio (estacionario o móvil), como a la precisión de la regu

lación, o sea, las magnitudes de la diferencia existente entre los valores de la función de salida en el estado de equilibrio del sistema y los valores dados (es decir, el error del sistema de regulación).

Por infalibilidad del sistema de regulación, se entiende la probabilidad que tiene de no fallar en el sistema el total de los elementos activos que lo componen, dando como resultado el que el sistema efectivamente se mantenga en equilibrio o permanezca estable.

-El primero y el segundo principios de la Termodinámica al actuar en el tiempo se encuentran incluidos dentro de la dinámica de los procesos de regulación. Así, puede haber reacciones discretas o continuas según la velocidad que en su acción adquieran los reguladores. En el primer principio, la velocidad con que se dan los cambios, por ejemplo para el trabajo de expansión, es casi simultánea: un incremento de volumen de un sistema viene determinado por un incremento de la presión en un lapso anterior. Sin embargo, el volumen final que adquiere el sistema depende de todos los lapsos en que se llevó a efecto el incremento de presión. De esta manera, se lleva a efecto también la discrecionalidad del proceso como un todo. Para el segundo principio se puede hablar también en los mismos términos: la dirección en equilibrio o desequilibrio que sigue un proceso termodinámico se da en forma casi si

multánea, y el resultado final del proceso como todo es lo que permite aclarar de que manera la transformación reversible o irreversible depende del conjunto de lapsos anteriores que lo determinaron y en que medida éstos adquieren valores discretos.

- La estabilidad e inestabilidad, según se han conceptualizado párrafos arriba, se pueden analogizar con los dos principios termodinámicos. Con el primero, ya que es obvio que un proceso inestable o no, se da cumpliendo la transformación y conservación de la energía. Las perturbaciones que sufre un sistema termodinámico al pasar de un estado a otro pueden no generar nuevos estados que previamente no se encuentren en dicho conjunto, como por ejemplo, el trabajo de expansión bajo ciertas condiciones no genera trabajo de compresión; por tanto, el estado al que pasa un sistema termodinámico en que se aplica trabajo de expansión es previsiblemente un aumento del volumen del sistema y desde esta perspectiva el proceso es estable. En el caso de que el aumento del volumen en el sistema dado coincida con la disminución de volumen en otro sistema a resultas de lo cual se incrementa la presión en este último pudiendo repercutir en el volumen del sistema inicial, decrementándolo, entonces el estado que se genera (trabajo de compresión en el sistema inicial) no es previsible y por tanto el sistema es inestable con respecto a la probabilidad de que al efectuarse un trabajo de expansión se produzca en el mismo sistema un trabajo de com -

presión. La inestabilidad así producida podría disminuirse si se estableciera un sistema de regulación de tal modo que se atenuaran las perturbaciones en el sistema en el que se efectúa un trabajo de compresión, disminuyendo con esto las probabilidades de que este sistema incidiera en aquel en el que se efectúa un trabajo de expansión.

- Para el segundo principio de la Termodinámica, la estabilidad e inestabilidad van ligadas estrechamente con las nociones de reversibilidad e irreversibilidad, en tanto que representan el grado de acercamiento al estado de equilibrio. Un proceso termodinámico será estable si tiende al estado de equilibrio y será inestable si se aleja paulatina o acumulativamente de él bajo ciertos parámetros. La tendencia de todo proceso natural, como se ha visto, es la de alejarse del estado de equilibrio según funcionen sus reguladores, lo que permite la creación de estados nuevos, o nuevos parámetros de estabilidad y cualidades nuevas en un devenir constante e inmerso en el principio de transformación y conservación de la energía.

- El error sistemático y el autocontrol tienen en los principios termodinámicos la siguiente explicación: en el primer principio el error sistemático es la diferencia existente entre las transformaciones energéticas habidas en un proceso, por las cuales la energía se "divide" en varias formas y afecta la dirección inicial de ese pro

ceso. Por ejemplo, al realizarse un trabajo de expansión se puede prever, bajo las condiciones en que se efectúa el fenómeno, la "pérdida" en otros tipos de trabajo (de rozamiento, cinético, etc.), que se pueden constituir como un "error" respecto a si el trabajo de expansión se efectuara sin ninguna interferencia o perturbación. El autocontrol se podría ejemplificar, cuando se ha dado el trabajo de expansión, como las oscilaciones respecto al aumento del volumen del sistema, que se han atenuado en el transcurso del proceso (trabajo de rozamiento, cinético, etc.), y han dado efectivamente un incremento del volumen.

- Para el segundo principio termodinámico el error sistemático es efectivamente la diferencia entre la norma del fenómeno o proceso termodinámico en cuestión con respecto al valor que realmente adquiere en el tiempo. A la acumulación de errores se debe el cambio en la dirección del proceso (amén de perturbaciones exógenas) hacia el desequilibrio con la consiguiente creación de nuevos fenómenos; y a la atenuación de esos errores en el tiempo, o sea, el autocontrol, se debe la dirección del proceso hacia el estado de equilibrio y su permanencia en él en tanto no acudan factores exógenos perturbadores del mismo.

- El equilibrio, como se ha definido párrafos arriba, encuentra en el principio de conservación y transformación de la energía una analogía por la cual a nivel de la energía total del sistema termo-

dinámico ésta se conserva, no obstante que revista al final del proceso varias formas. Respecto al segundo principio, las "características propias" de un sistema, en tanto no haya modificaciones o perturbaciones que las alteren, constituirán el valor o los valores de equilibrio de ese sistema y su entropía se puede considerar de un valor bajo. En tanto varíen las características del sistema al haber perturbaciones a las cuales no pueda responder el mismo con estabilizadores adecuados, no obstante que desde el punto de vista del primer principio haya equilibrio energético, desde la perspectiva del segundo principio hay un incremento de la entropía del sistema y por ende un incremento en la irreversibilidad o desequilibrio del mismo, lo que ocasionará un sistema "nuevo" con características diferentes a las del sistema inicial y nuevos estabilizadores.

- La eficiencia e infalibilidad de la regulación tienen en los principios termodinámicos la siguiente explicación: en el primer principio la eficiencia está constituida tanto por la velocidad con que se den las transformaciones energéticas, como por la precisión de las mismas, expresada esta última en lo que líneas arriba se tocó como error sistemático. De esta forma habrá procesos que combinen velocidad y precisión de maneras distintas, con las consiguientes diferencias en los resultados energéticos. Asimismo, la infalibilidad en el primer principio se cumple de manera absoluta en -

tanto que el resultado final de los procesos energéticos es su conservación. A nivel más particular, la infalibilidad de un proceso determinado es la probabilidad de que sus elementos actúen dando por resultado un intercambio energético específico y no otro, como sería el caso del trabajo de expansión, en donde el aumento de volumen sería consecuencia de la probabilidad de que haya un amento de presión y no se "diluya" en otro tipo de trabajos. En cuanto al segundo principio, de la eficiencia que se manifieste en un proceso termodinámico dependerá el equilibrio del mismo. Por tanto, - cuanto más eficiente sea un proceso, menor será la entropía del mismo y viceversa. Dado que la entropía y la probabilidad termodinámica (o sea, el peso estadístico de un estado macroscópico a consecuencia del número de estados microscópicos que realizan dicho estado macroscópico) son magnitudes relacionadas entre sí, la infalibilidad de un sistema se puede expresar en función del segundo - principio diciendo que el equilibrio es el valor máximo de la entropía, de la probabilidad termodinámica y de la infalibilidad. Las - perturbaciones que hacen que la probabilidad de fallas en el sistema de regulación aumente, corresponden a un aumento en el desequilibrio del sistema y a un aumento en su falibilidad tanto termodinámica como sistemática.

F) Termodinámica y noción de Proceso Ergódico, Dominio de Ergodicidad, Duración de la Ergodicidad; Autoconducción de la Er-

godicidad y Procesos Antiergódicos.

El proceso de un sistema estable tendiente a un estado de equilibrio es un caso especial de una categoría más amplia de procesos de desarrollo a los cuales se denomina ergódicos (el término ergódico es empleado de manera análoga a la de la teoría de cadenas Markov. Se dice que una cadena de Markov es ergódica cuando la distribución de probabilidad en experimentos sucesivos converge a una distribución límite independientemente de la distribución inicial). Los procesos ergódicos son procesos de desarrollo tales que, con el tiempo, llegan a ser independientes del estado inicial del sistema. En un sistema estable el desarrollo tiende a cierto estado independiente del estado inicial del sistema; por ejemplo al estado de equilibrio; la estabilidad del sistema descansa precisamente en esto. En el caso general de procesos ergódicos, el desarrollo del sistema tiende a conformarse a una ley determinada de desarrollo independiente del estado inicial del sistema. El desarrollo de un sistema es un proceso ergódico si las funciones de tiempo de entradas y salidas del sistema (X_t y Y_t) tienden cuando el tiempo es suficientemente amplio, a funciones de tiempo independientes del estado inicial del sistema (\hat{X}_t y \hat{Y}_t), por lo cual el sistema es un proceso ergódico si $\lim_{t \rightarrow \infty} X_t = \hat{X}_t$ y $\lim_{t \rightarrow \infty} Y_t = \hat{Y}_t$. La estabilidad es un caso especial de los procesos ergódicos y ocurre cuando $\hat{X}_t = \hat{X} = \text{constante}$ y $\hat{Y}_t = \hat{Y} = \text{constante}$. Las funciones -

\hat{X}_t o \hat{Y}_t serán denominadas las funciones de dirección del desarrollo del sistema.

Se denota por ΔX_t y ΔY_t la desviación de los estados de entrada y salida en el momento t a partir de los valores de la función de dirección del sistema, los cuales se denominan norma del estado del sistema y cualquier desviación respecto de la norma será llamada perturbación, la cual se define como $\Delta X_t = X_t - \hat{X}_t$ y $\Delta Y_t = Y_t - \hat{Y}_t$. Así, la definición de un proceso ergódico puede por lo tanto, ser expresada como $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta X_t = 0$ y $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta Y_t = 0$. Lo anterior significa que en un proceso ergódico cualquier perturbación al desarrollo del sistema desaparece con el tiempo. Este último implica que para que el desarrollo del sistema sea un proceso ergódico, debe haber acoplamientos en retroalimentación compensatorios que reduzcan las perturbaciones y con el tiempo conduzcan a la desaparición de las mismas.

La tendencia de desarrollo de los sistemas hacia su norma, es decir, a su función de dirección, o dicho de otra manera, la desaparición de perturbaciones en el curso del desarrollo, será denominada autoconducción de desarrollo del sistema. La autoregulación de un sistema establece un caso particular de desarrollo; ocurre cuando las funciones de dirección son de la forma $\hat{X}_t = \text{constante}$ y $\hat{Y}_t = \text{constante}$. La clase de los valores de los estados iniciales del sistema (o sea de los estados de entrada y salida) para los

cuales la función X_t tiende a la función de dirección \hat{X}_t , o Y_t tiende a \hat{Y}_t , constituye el dominio de ergodicidad del desarrollo del sistema. Las perturbaciones que implican estados del sistema dentro del dominio de ergodicidad desaparecen con el tiempo, mientras que las perturbaciones que implican estados del sistema fuera de ese dominio no desaparecen, pero ejercen una influencia duradera en el desarrollo del sistema. El dominio de ergodicidad puede, por lo tanto, ser descrito también como el dominio de perturbaciones transitorias y el conjunto de estados iniciales del sistema que no pertenecen a ese dominio también pueden ser descritos como el dominio de perturbaciones duraderas.

El intervalo de tiempo $t_1 \leq z \leq t_2$, donde z es el momento en que ocurre la perturbación ΔX_t , será denominado duración de la ergodicidad del desarrollo del sistema. Si este intervalo es $-\infty < z < \infty$, se dirá que el proceso de desarrollo del sistema es permanentemente ergódico, mientras que si el intervalo es finito, se dice que el proceso es transitoriamente ergódico. Un proceso puede ser transitoriamente ergódico unilateralmente, por ejemplo, cuando $-\infty < z \leq t_2$, o $t_1 \leq z < \infty$.

Quando un proceso se aleja acumulativamente de la función de dirección del sistema, se dice que es anti-ergódico; en este caso, los acoplamientos en retroalimentación en el sistema dejan de ser compensatorios y todas las perturbaciones causan un proceso acumulativo del estado del sistema que se aleja cada vez más de la fun -

ción de dirección, esto es, el proceso se hace antiérgico; las perturbaciones duran más y más y el estado del sistema regresa más y más lentamente a la norma; esto es, al estado determinado por la función de dirección del desarrollo del sistema. Si esto ocurre, la autoconducción del sistema se torna lenta.

La "maduración" de un sistema, o sea el "aflojamiento" de su autoconductibilidad, y su "envejecimiento" pueden manifestarse no solamente como un cambio en la velocidad a la que desaparecen las perturbaciones en el proceso de desarrollo; pueden manifestarse también en un cambio del dominio de la ergodicidad del desarrollo del sistema.

La estabilidad de un sistema y la ergodicidad de su proceso de desarrollo son el resultado del modo de acción de los elementos del sistema y de los acoplamientos de los elementos, o sea, de la estructura del sistema. Por tanto, los procesos érgicos de desarrollo son el resultado de la ley del movimiento del sistema, la cual determina todas las propiedades de desarrollo del sistema.

- Desde la perspectiva de la Termodinámica, en sus principios primero y segundo, los procesos érgicos se manifiestan de la siguiente manera: en el principio de la conservación y transformación de la energía, independientemente de las características iniciales de transformación energética que haya en un proceso (sea una transfor-

mación energética del expansión, cinética, de rozamiento. etc.), la distribución final de ese proceso energético será de conservación - total de la energía, distribuída entre las formas de trabajo citadas líneas arriba: es decir, el balance final que arroje la transformación o las transformaciones energéticas converge hacia una distribución de probabilidad límite (en este caso la certidumbre total dada por la conservación final de la energía no obstante las transformaciones habidas) independientemente de los estados iniciales, o sean, las formas de energía iniciales en términos de probabilidad (la probabilidad de que en un trabajo de expansión se produzca trabajo cinético, de rozamiento, etc.). Para el segundo principio, o sea la entropía, la ergodicidad se expresa como la serie de condiciones por las cuales un proceso termodinámico irreversible: a) - tienda hacia un proceso cercano a la reversibilidad y b) se mantenga en ese estado. En el primer caso, la irreversibilidad inicial se - torna con los reguladores acoplados al sistema en un proceso cuasi reversible o en límites cercanos al de equilibrio, lo cual lo consigue el sistema independientemente de la distribución inicial de probabilidad y en función del modo de acción del sistema y de la estructura del mismo, o sea, su "ley de movimiento". En el segundo caso, de la reversibilidad que un proceso exprese y en función de su "ley de movimiento", la ergodicidad de ese proceso llega a un límite en el cual su entropía, por efecto de perturbaciones a las cuales el sistema en su autorregulación no es capaz de responder atenuándolas, tiende a

crecer con lo que se prepara el camino para un nuevo sistema con propiedades diferentes al sistema inicial, con un modo de acción y estructura nuevas que lo delimitan cualitativa y cuantitativamente.

- El dominio de ergodicidad, definido líneas arriba como el conjunto de perturbaciones transitorias y duraderas sobre las cuales el sistema actúa a través de sus reguladores, atenuándolas en el primer caso y conllevándolas durante su desarrollo en el segundo caso, se manifiesta en el primer principio de la Termodinámica de la siguiente manera: como un todo, un sistema termodinámico conserva dentro del balance energético final de las transformaciones que en él ocurran, un valor constante, dividido en diversos tipos de energía según se ha explicado en los párrafos precedentes. A un nivel más particular, considerando un tipo de trabajo específico como el de expansión, y no obstante que el balance final energético será constante, el dominio de ergodicidad vendrá especificado como las perturbaciones a las cuales el sistema regulador del cambio presión-volumen pueda eliminar o atenuar, así como el tipo de perturbaciones que sin poder ser atenuadas del todo, permiten sin embargo el incremento efectivo del volumen en el sistema. Para el segundo principio, el dominio de ergodicidad se explicita en las transformaciones cuasiestables, en las cuales las perturbaciones pueden ser atenuadas lo suficiente como para que el sistema se mantenga dentro de ciertos parámetros de reversibilidad o equilibrio. Sin embargo, las perturbaciones duraderas a las cua-

les afronta el sistema, más las perturbaciones externas para las -
cuales es necesario hacer ajustes profundos en los reguladores del
mismo, determinan en el transcurso del tiempo un rompimiento en
la estabilidad relativa del sistema, dando lugar a desequilibrios y al
surgimiento de sistemas nuevos con nuevos parámetros en el domi-
nio de ergodicidad de los mismos.

- La duración y autoconducción de la ergodicidad, enfocados a los
principios de la Termodinámica, revierten a considerar para -
el primer principio, conforme a las definiciones dadas en estos -
conceptos líneas arriba, que la norma o la función de dirección -
de un sistema termodinámico es la conservación de la energía. En
el curso del desarrollo de un proceso termodinámico los regulado-
res energéticos totales resultantes de las distintas formas de ener-
gía, provocan la desaparición, al final del proceso, de las perturba-
ciones existentes, determinando la autoconducción del desarrollo -
del sistema que es como se ha dicho, la conservación energética -
total. Respecto a la duración de la ergodicidad del desarrollo del
sistema, ésta es para el primer principio permanentemente ergódi-
ca, ya que el balance total energético es una constante. Para pro-
cesos energéticos particulares (expansión, rozamiento, etc.), la du-
ración es transitoriamente ergódica o unilateralmente transitoria. -
Para el segundo principio, la autoconducción de la ergodicidad será
explícita para las transformaciones cuasiestables en las cuales las
perturbaciones se atenúan y la duración de la ergodicidad será -

transitoria o unilateralmente ergódica, ya que en su devenir los sistemas termodinámicos, conforme a sus modos de acción y estructura determinada, tienen en su "ley de movimiento" cambios cuantitativos y cualitativos que inducen a nuevos modos de acción y estructura, y por ende, a nuevas formas de autoconducción y duración de la ergodicidad de acuerdo a las perturbaciones que han dado origen a los nuevos sistemas.

- Por lo que toca al concepto de anti-ergodicidad, según se ha definido, para los principios termodinámicos, se puede explicitar como sigue: en el primer principio, la anti-ergodicidad se manifiesta cuando en un proceso energético determinado, tomando en consideración que el balance energético total es constante, los intercambios energéticos se deben a que en el proceso considerado hay perturbaciones que impiden que el total de energía se transfiera íntegramente en una sola dirección, o bien respecto a la norma dada. En este caso hay desviaciones que hacen que por ejemplo: en el trabajo de expansión se "diluya" energía en otros tipos de trabajo (rozamiento, cinético, etc.) o bien, si las perturbaciones son muy fuertes y no responde el sistema regulador atenuándolas, el trabajo original se realice en un mínimo o no se realice, produciéndose en cambio otros tipos de trabajo. Para el segundo principio, la anti-ergodicidad es clara para los procesos irreversibles o en desequilibrio. Un proceso de este tipo es el resultado de desajustes conforme a la norma de los procesos cuasiesta-

bles. a resultas de perturbaciones que rompen los parámetros de los estabilizadores y originan que aquellas tengan una duración mayor y acumulativamente desestabilicen el sistema termodinámico dado. Por consecuencia hay una "ruptura" en el sistema y un surgimiento de otro con características nuevas cuantitativas y cualitativas en su "ley de movimiento", que a su vez tenderá hacia un estado cuasiestable con reguladores específicos hasta que se produzca en el tiempo otro "rompimiento" que de lugar a otro nuevo proceso. Por tanto, es la antiérgodicidad, aunada a la entropía, los conceptos que explican con una abstracción mayor las causas de los desequilibrios en los sistemas sean del tipo que fueren, dándole un contenido concreto a cada cambio en los diversos procesos de un sistema, y tipificandola cualidad que cada perturbación tenga, y su expresión resultante cuantitativa.

G) Comentarios

Por todo lo que se ha expuesto en este capítulo, se considera que es válido hablar de un isomorfismo entre los conceptos fundamentales de la Cibernética expresada como teoría de la regulación y estabilidad de los sistemas acoplados y los principios primero y segundo de la Termodinámica, dado que se ha respetado el carácter específico de cada cuerpo categorial de ambas disciplinas y se ha constatado analógicamente la congruencia entre los conceptos que se han vertido.

Asimismo, el abarcar la analogía y su ejemplificación utilizando básicamente el trabajo de expansión en el primer principio, obedece a razones de simplificación. La analogía se puede ejemplificar para cualquier otro tipo de trabajo de los expuestos en el Capítulo I. Por otro lado, el utilizar para la analogía los principios primero y segundo de la Termodinámica en su aspecto más general, obedece a causa similar a la arriba expuesta, pues "bajar" o particularizar la ejemplificación hacia aspectos como energía interna, entalpía, calor, temperatura, etc., hubiera complicado la exposición. No obstante, cuando ha sido necesario se ha hecho aunque no en una forma exhaustiva porque rebasaría el objetivo de este capítulo, aunque también se puede probar que el carácter isomórfico se da en todos los niveles de abstracción y concreción en las diferentes disciplinas de la ciencia, lo cual es lógico ya que todo conocimiento científico, para serlo, parte de una abstracción de la realidad; estos conocimientos se refieren a la esencia de la cosa y no a su apariencia y en virtud de ello todos son un producto de la realidad reflejada en el pensamiento. Como expresa Marx: "la totalidad concreta, como totalidad de pensamiento, como un concreto de pensamiento es, en realidad, un producto del pensar, del concebir; es la elaboración de la percepción y de la representación en conceptos". (1) Como la realidad forma un todo con diferentes determinaciones o

(1) Marx, Carlos: "Contribución a la crítica de la Economía Política". Ed. Fondo de Cultura Popular, México 1970. Pág. 259.

movimientos, se encuentra vinculada, y es precisamente por este -
vínculo por el cual es posible conocerla, compararla y establecer -
lo que es común y diferente a los tipos de movimiento que presen-
ta. Es en este sentido como se ha tratado de relacionar a la -
Termodinámica y a la Cibernética expuesta como "Teoría de la Re-
gulación y Estabilidad de los Sistemas Acoplados".

C A P I T U L O I V .

PROCESO ECONOMICO, ACUMULACION Y REPRO-
DUCCION DE CAPITAL Y RELACION ANALOGICA
CON LOS PROCESOS ERGODICOS, ANTIERGODICOS
Y EL SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA.

Conforme al activo de información que este trabajo tiene en el Anexo I, se puede presentar una analogía estructural o isomorfismo entre la Economía y la Teoría de la Regulación y Control de Sistemas Acoplados. A este hecho se aboca Oskar Lange en su obra "Introducción a la Economía Cibernética"⁽¹⁾, en la que establece los principios básicos de la Cibernética y explica su aplicación en el campo de los procesos económicos. Así, nos habla de la dinámica del proceso marxista de reproducción y su interpretación desde un enfoque cibernético. Asimismo el compañero José Luis Leyva Astudillo⁽²⁾, en su tesis profesional, establece los conceptos de la Cibernética como un adecuado instrumento operativo para el examen de los procesos económicos y a este efecto aborda

-
- (1) Oskar Lange: Introducción a la Economía Cibernética. Ed. - Siglo Veintiuno Editores, S.A., Madrid-México, 1969.
 - (2) José Luis Leyva Astudillo: Economía y Cibernética: Reflexiones en torno a la cuestión metodológica en Economía. Tesis Profesional. UNAM. ENE, 1974.

la formulación analógica entre algunas categorías del materialismo histórico, como modo de producción, superestructura, etc. con categorías cibernéticas como sistema, perturbación, acoplamientos - en retroalimentación, etc. y su validación lógica.

Por lo anterior, al explicar las relaciones estructurales entre los conceptos de reproducción de capital y cibernética, se consideran dadas, y válidas las conclusiones analógicas que vierten - los autores citados.

Así, el ciclo acumulación y reproducción de capital -teoría de la regulación y control de sistemas acoplados - entropía, queda solventado en su primer paso por lo expuesto líneas arriba, y su segundo paso: teoría de la regulación y control de sistemas acoplados-entropía, se estima quedó también solventado en el Capítulo III, donde se expuso y trató de validar la hipótesis de un nexo analógico entre el segundo principio de la termodinámica y la teoría de sistemas.

Ahora bien: para cerrar el ciclo anterior, es necesario revertir el proceso, de tal modo que se pueda validar la hipótesis - de que hay una relación analógica entre la acumulación y reproducción de capital y la entropía. A este fin se considera conveniente primero exponer la fase proceso económico-entropía, como forma - metodológica que permita vincular los nexos comunes, analógicos,

entre ambos, y permitan "filtrar" por deducción conclusiones que puedan utilizarse para el caso particular acumulación y reproducción de capital - entropía.

Por lo anterior, se procederá en lo que sigue a revisar la su posición de que existe una relación entre los procesos económicos y el segundo principio de la termodinámica, tomando a éste como una forma general de expresar el grado de desequilibrio de los procesos reales. -

A) Relación analógica entre Proceso Económico y el Segundo Principio de la Termodinámica. -

a) Proceso económico

"La actividad económica (producción y distribución de bienes) no se manifiesta en un acto realizado de una sola vez; constituye, por el contrario, una actividad humana que se repite constantemente. En este sentido se habla del proceso económico como la -- unión del proceso de la producción y de la distribución. Se entiende aquí por proceso una actividad humana que se repite constantemente; y solamente en un proceso, en una actividad humana que se repita constantemente pueden manifestarse leyes. En este sentido, se puede decir que la tarea de la economía política consiste en determinar las regularidades de este proceso, en investigar --

las leyes sociales que rigen el proceso económico.

"En el proceso económico se establecen ciertas relaciones -- más o menos estables entre los hombres, es decir, ciertas relaciones sociales. Las relaciones sociales son un tipo definido de reacción constante (que se repite constantemente) de unos hombres con otros, a través de una actividad de un tipo dado que se repite constantemente de unos hombres con otros. Las relaciones so-ciales son de diversos tipos: por ejemplo, las relaciones entre - gobernantes y gobernados, consecuencia del ejercicio del poder po-lítico. Las relaciones sociales que se anudan en el curso del -- proceso económico se distinguen de otros tipos de relaciones so-ciales en que se establecen por intermedio de los objetos materia-les que sirven para la satisfacción de las necesidades, a través - de los medios de producción o de los medios de consumo. Estas relaciones sociales, que aparecen por medio de los bienes mate--riales, es decir, por intermedio de las cosas, son designadas con el nombre de relaciones económicas. Las relaciones económicas se pueden representar por medio del siguiente esquema: hombre → cosa → hombre.

"Algunas relaciones del hombre con las cosas forman parte - integrante de las relaciones económicas: se trata de las relaciones que constituyen un eslabón que sirve de intermediario en las

relaciones entre los hombres. En el proceso de producción, estas relaciones del hombre y de las cosas son las relaciones entre el trabajo realizado y la cantidad de productos obtenidos, es decir, la productividad del trabajo. En el proceso de la distribución, -- las relaciones del hombre y las cosas están constituidas por las -- relaciones entre las necesidades humanas y los diversos produc-- tos, o sea, su utilidad, a la que también se denomina valor de -- uso.

"Las relaciones que se acaban de enumerar entre el hombre y las cosas entran dentro del campo de la economía política en -- tanto que constituyen el eslabón de las relaciones económicas entre los hombres; dicho de otro modo, en materia de economía políti-- ca lo que interesa es su aspecto social. Por el contrario, el as-- pecto puramente físico de las relaciones entre el hombre y las -- cosas no es objeto de las investigaciones de la economía política; en el proceso de producción, el aspecto físico de estas relaciones pertenece a la tecnología (técnica industrial, agronomía, tecnolo-- gía de los transportes, etc) y, en el proceso de la distribución, - este aspecto físico pertenece en parte también a la tecnología --- (técnica comercial, peritación de las mercancías) y, en parte, a -- la biología, a la higiene, a la psicología, etc.

"Se puede decir, por tanto, que la economía política (que estu

día las leyes sociales que rigen el proceso económico) se ocupa de un tipo determinado de relaciones sociales: las relaciones económicas, término que abarca igualmente aquellas relaciones entre el hombre y las cosas que constituyen el eslabón de las propias relaciones económicas. Hay dos géneros de relaciones económicas; al primero pertenecen aquellas relaciones que aparecen en el curso del proceso de la producción y por ello se les denomina relaciones de producción; al segundo pertenecen aquellas relaciones que se manifiestan en el proceso de la distribución y a las que se denomina relaciones de distribución; en el período particular del desarrollo histórico en que la distribución toma la forma de intercambio, las relaciones de distribución se denominan relaciones de intercambio." (3)

b) Proceso económico y teoría de sistemas*

El proceso económico, tal como se ha definido en el punto an

(3) Oskar Lange: "Economía Política", Ed. F.C.E, 1971. p.p. 16 y s.s.

* Se utiliza aquí este término, más breve, para substituir al de teoría de la regulación y control de sistemas acoplados, que a su vez puede expresarse como teoría de la regulación y estabilidad de los sistemas acoplados, utilizado en el Capítulo III, o más simplemente, Cibernética. La Cibernética, como ciencia general sobre el control y la regulación de los sistemas de acoplamiento, ha sufrido en el transcurso de su desarrollo diferentes definiciones acorde al desarrollo de sus componentes conceptuales que la originaron. Así, de la regulación ha surgido una teoría de la regulación; del concepto "maquina", como sistema de elementos interconectados, ha surgido la teoría de sistemas de acoplamiento, etc. En sí, el término teoría de sistemas se utiliza para generalizar a todos los subconjuntos que contiene la Cibernética y su desarrollo, por lo cual se puede considerar sinónima de aquella. La connotación que se le da en este párrafo es en relación con los elementos conceptuales que se han tocado en este trabajo, los que se encuentran ampliados en el Anexo I

terior, conlleva una serie de semejanzas estructurales con la teoría de sistemas. En primer lugar, el proceso económico, como actividad humana que se repite constantemente está íntimamente ligada con la noción de elemento activo, en tanto que el proceso de producción y de distribución actúan interrelacionadamente formando el medio ambiente en el cual se desarrolla el proceso económico, dependiendo obviamente de las condiciones estructurales y superestructurales de una formación socioeconómica dada. Por otra parte, las nociones de transformación y acoplamiento de elementos activos son inherentes a cualquier proceso económico, ya que intervienen directamente en la conformación de la dinámica dada por las actividades humanas repetidas constantemente tanto en la fase productiva como de distribución. Ambas están acopladas, y precisamente en su dinámica llevan intrínsecamente transformaciones, tanto en el proceso productivo como en el proceso de distribución, determinando las relaciones de producción y las de distribución. Aquí cabe hacer la aclaración de que cuando se habla de transformaciones y acoplamientos, no se quiere decir que las categorías de la teoría de sistemas son independientes de las categorías económicas y constituyen la determinación de las relaciones de producción y distribución, ya que las segundas, como se sabe, en la forma concreta que revisten son las que efectivamente

determinan a las relaciones de producción y de distribución. Sólo se quiere dar a entender que es posible abstraer a las categorías económicas determinantes y representarlas como categorías de la teoría de sistemas, tomando en cuenta el isomorfismo estructural. Lo anterior vale para el contenido de los párrafos siguientes.

Referente al modo de acción, la estructura y el desarrollo de un sistema, es posible analogizar con el concepto de proceso económico. Este proceso es resultante de una estructura de acoplamientos, -- que a nivel particular para cada elemento, o general para el sistema en sí, determinan el modo de acción y desarrollo del mismo, tanto en las relaciones de producción como en las de distribución. Tales relaciones son producto de una estructura de acoplamientos a nivel de partes y de todo entre factores económicos del modo de producción de que se trate que a nivel estructural y superestructural, en la connotación que da Marx a estos términos, las determinan, concreta, realmente. Así, el desarrollo del proceso económico supone en la repetición constante de la actividad humana, un -- cierto tiempo que de acuerdo con la estructura y el modo de acción según líneas arriba se ha especificado, determinan el movimiento -- del sistema, o sea del proceso económico considerado.

Conforme a las nociones de regulación y control, en el proceso económico se presentan para el modo de producción capitalista

situaciones concretas que mantienen un símil muy estrecho. En efecto, el modo de producción capitalista históricamente se ha determinado y diferenciado de otros modos de producción porque su esencia la constituye la obtención de plusvalía en el proceso productivo y la obtención de ganancia al realizarse aquella en la esfera de la circulación de mercancías, es decir en el mercado (no se incluye aquí la mercancía fuerza de trabajo, ya que su uso como generadora de plusvalía corresponde a la esfera de la producción, y de su trabajo no retribuido se deriva la ganancia al enajenarse -- los bienes producidos por el obrero en la esfera de la circulación. La plusvalía se objetiva en el proceso de producción mientras que existe como embrión en el mercado de trabajo. En sentido contrario, la ganancia se encuentra como embrión en el proceso productivo y se objetiva bajo la forma capital dinero en la esfera de la circulación, en el mercado de productos. Sin embargo, la plusvalía contiene a la ganancia y ésta se transfigura de su forma mercancía a su forma dinero gracias a que existe latente en la plusvalía generada en la producción). Conforme a lo anterior, la regulación del modo de producción capitalista se manifiesta bajo la -- forma de sistema regulado a través de transformaciones que lo -- mantengan como tal - sistema regulador - . Como sistema regulado el modo de producción capitalista debe conservar su esencia en el tiempo - extracción de plusvalía y obtención de ganancia - a través de condiciones reguladoras (sistema de regulación) que -

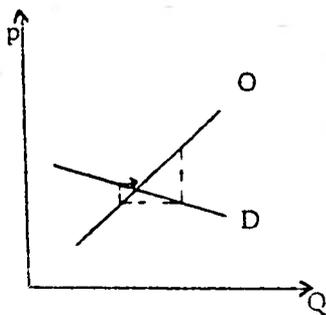
provean las condiciones necesarias para conservar su esencia, como son: propiedad de los medios de producción en manos del capital; del capitalista; una fuerza de trabajo libre en el sentido de su rotación de una esfera a otra de la producción y libre de no poseer medios de producción; un ejército industrial de reserva; un avance cada vez mayor de las condiciones capitalistas de producción en esferas no tradicionalmente capitalistas -actividades agrícolas-: una reestructuración del aparato de distribución social - que facilite y se subordine al tipo de mercado de productos que requiere el capital, la producción capitalista, tanto en el orden interno como internacional y una superestructura que facilite las condiciones anteriores en favor del capital.

Como norma del sistema regulado impera la extracción máxima de plusvalía y la obtención máxima de ganancia; como control del sistema de regulación se establecen los mecanismos que coadyuvan a la corrección de las entradas y salidas del sistema para ajustarse a la norma.

Lo anterior implica que en el modo de producción capitalista se producen necesariamente perturbaciones (manifestadas básicamente por las condiciones que determinan los ciclos económicos) que conllevan el requerimiento de controles que las atenúen para ajustarlas lo más cercanamente a la norma.

La estabilidad del modo de producción capitalista descansa -- precisamente en lo anterior, aunque en su movimiento la constante histórica es la inestabilidad producida precisamente por el incremento de las perturbaciones en el sistema a regular por las contradicciones propias del modo de producción. Esto implica que se den en el sistema regulador retroalimentaciones compensadoras -- cada vez más amplias para soportar el peso de la inestabilidad. Lo anterior se ha traducido históricamente en la actuación del Es tado en la economía como medio compensador de perturbaciones a través de la puesta en marcha de mecanismos económicos (de política fiscal y de gasto público en una gama muy amplia de actividades, de modelos económicos coadyuvantes a la aplicación de mecanismos de política económica estatal, etc) y de mecanismos de re presión a la clase no propietaria de medios de producción, para asegurar su mantenimiento como tal y la tendencia al equilibrio - del sistema global, en lo cual influye la capacidad que ha heredado el modo de producción capitalista en su devenir histórico para de crementar la diferencia del error sistemático, así como para -- aumentar la precisión y velocidad del sistema de regulación, o -- sea la eficiencia del sistema regulador. No obstante, en su devenir, las contradicciones inherentes del modo de producción capitalista tienden por su carácter antagónico a crear desequilibrios -- cada vez más amplios en el proceso económico.

Desde la perspectiva de la noción de ergodicidad en el proceso económico a través de las relaciones de producción y de distribución, específicamente para el modo de producción capitalista, -- viene a ser ésto la norma límite de equilibrio o la tendencia "ideal" del sistema como un todo, por la cual las perturbaciones que se presentaran en el desarrollo del sistema desaparecerían con el -- tiempo. Así, los valores de las funciones de tiempo independientes del estado inicial del sistema (el cual puede estar caracterizado por un sinnúmero de perturbaciones) serían los valores de equilibrio del sistema. Un ejemplo aproximado de la ergodicidad en Economía lo constituye el "Teorema de la telaraña" acerca de la formación de los precios en el mercado, para el caso en que la elasticidad (en valores absolutos) de la demanda es mayor que la elasticidad de la oferta. Considerando esta situación como una -- constante, después de un cierto número de períodos, se llegará a un precio de equilibrio, en el cual la demanda iguale a la oferta. Gráficamente puede expresarse de la siguiente manera:



En este ejemplo, las funciones de entrada X_t (por las cuales a una oferta determinada le corresponde un cierto valor de la demanda) y de salida Y_t (a una demanda determinada, la oferta responde dentro de los valores de su curva con uno correspondiente a aquel valor que, sin embargo, no corresponde al de equilibrio, por lo cual se producen nuevos valores de entrada y salida) tienen, por la condición de las elasticidades, perturbaciones constantes que son el transcurso del tiempo e independientemente de las mismas, tenderán teóricamente hacia el estado de equilibrio, o sea, que las funciones de dirección del desarrollo del sistema - \hat{X}_t o \hat{Y}_t en el límite $\lim_{t \rightarrow \infty} X_t = \hat{X}_t$ y $\lim_{t \rightarrow \infty} Y_t = \hat{Y}_t$ son el estado de equilibrio, y el proceso global es ergódico porque las perturbaciones tienden en el tiempo a desaparecer y portanto a mantenerse el sistema en equilibrio.

Puede decirse que bajo las condiciones dadas a mantener por el modo de producción capitalista en una situación temporal concretamente determinada -lo que párrafos arriba se ha señalado como sistema regulado-, o sea la máxima extracción de plusvalía y la máxima obtención de ganancia, el sistema regulador del propio modo de producción tiende a tratar de llegar teóricamente al dominio de ergodicidad del desarrollo del sistema, o sea, a los

valores que acepta la norma dentro de los cuales las perturbaciones tienden a desaparecer. Pero, por el carácter contradictorio que en su esencia y contenido conforman al modo de producción - capitalista, la tendencia del mismo es de carácter antienergético, o sea, que se aleja cada vez más de la función de dirección del sistema, o sea la norma, siendo por tanto un sistema inestable o en desequilibrio constantemente, lo cual se manifiesta en lo económico por el carácter cada vez más grave que revisten las crisis. - No obstante, el sistema acude a medidas más drásticas para atenuar las perturbaciones producto de sus contradicciones internas - (centralización del capital; nacimiento de supercorporaciones, extensión a ultranza a nivel mundial de las condiciones capitalistas, etc.) que provocan a su vez nuevas contradicciones y nuevos desequilibrios y la utilización cada vez más amplia como medida correctora de las perturbaciones. de la represión a través de mecanismos que provee la superestructura.

c) Proceso económico y entropía.

De lo expuesto en los incisos precedentes, se intuye que existe una ligazón entre el proceso económico como la unión del proceso de producción y de distribución, y la entropía, conceptuada como medida del grado de desequilibrio de los procesos en general, según se desprende de los capítulos II y III. Conforme a lo expuesto en el punto b) del presente parágrafo, hay una correspondencia

entre el concepto de proceso económico y las nociones fundamentales de la teoría de sistemas; al proceso económico se le puede considerar como un sistema y cumple comparativamente con las definiciones de los conceptos que de sistemas se han vertido. --- Ahora bien, la entropía, según se ha visto, cumple también en forma correlativa con las definiciones de los conceptos de la teoría de sistemas. Por tanto, debe haber un nexo entre el proceso económico y el segundo principio de la termodinámica.

Para observar este nexo hay que tener presente el no encuadrar mécanicamente el concepto de entropía, definida como la relación calor a temperatura en termodinámica, con el concepto de proceso económico, que tiene un contenido concreto en el campo de la realidad social. Antes bien, hay que observar del Capítulo II, parágrafo C), las expresiones que reviste la entropía en química, biología, psicología y cibernética, y extraer lo que hay de común y de diferente respecto a la aplicación del segundo principio termodinámico en los campos de la realidad física y social referidos.

Así por ejemplo, para la física el segundo principio de la termodinámica ofrece dos opciones: al considerar a la materia y a la energía como sinónimos, permite a través del conocimiento de los cambios cuantitativos y cualitativos de la energía en sus díversas manifestaciones, el conocimiento de las formas y cambios de

la materia a nivel atómico en primera instancia, y a nivel de los grandes agregados moleculares en una segunda. En este sentido lo que proporciona de información la entropía a nivel de expresión cualitativa - del intercambio energético y su conservación, medida como el grado de desequilibrio de un proceso energético, del cual se derivan nuevos parámetros de estado termodinámico (presión, volumen, -- temperatura, etc), induce a ampliar el conocimiento del cambio -- energético y su expresión natural y por ende un conocimiento más claro de la materia física como un todo y como sus partes.

Para la química, la entropía tiene interés en cuanto que permite ampliar la posibilidad de que este principio indique el grado de equilibrio en un proceso químico. Para realizar esto, la química se vale de la probabilidad termodinámica, que en esencia significa el grado de probabilidad de una distribución molecular uniforme en una magnitud de volumen determinado. Esto en la química representa la posición que adopta una reacción cuando alcanza cercanamente, o no lo hace, el equilibrio. Así, la química concluye: debido a que la entropía de los gases es mucho mayor que la entropía de las fases condensadas (es decir el desequilibrio energético es - mayor en los gases que en las fases condensadas), hay una disminución pronunciada de la entropía para estas fases. A la inversa, en las reacciones donde se producen gases a expensas de materiales condensados se presenta un gran aumento de entropía.

En el campo de la biología, partiendo del razonamiento de que "es la totalidad del ser, la totalidad de sus causas, que evidentemente no pueden ser abarcadas simultáneamente, la razón de que el "uno" sea parte, y al mismo tiempo resulte del "todo". Esta es la situación que afrontan las construcciones científicas y que no pueden resolverse como tales si no están incluidas en un contexto teórico único, dentro del cual los puntos de referencia también -- son únicos, permitiendo a la pluralidad estar presente en la unidad y a ésta ser parte de aquella".(4) Esta y no otra es la razón por la cual la física, la química, la biología como ciencia del origen y evolución de la materia viva, encuentran puntos de referencia -- comunes que las justifican por separado y las integran al mismo tiempo como unidad.

La cinemática de los cambios de la materia esta determinada por la entropía cuya disminución señala, correlativamente, la disminución de los mismos. Un sistema que tiende al reposo se -- destruye; en el nivel biológico, como complejización en la organización de la materia, significa muerte. Vida significa diferenciación en relación con el medio, esto es autorregulación que reduce los intercambios directos, y, cuanto más autorregulado es un

(4) Alberto L. Merani: Op. Cit. ; p. 21

organismo, más frágil resulta fisicoquímicamente, y la complejización de los elementos evolutivos en la línea de un autocontrol de la energía desemboca en sistemas autónomos que mantienen el nivel del intercambio energético individuo - medio.

Para la psicología, el pensamiento es una resultante de entropía decreciente que resuelve el conflicto, de otra manera irreducible, de la equilibración energética entre las regulaciones orgánicas y las del medio, entre el individuo y el resto del mundo. Sin embargo, la dinámica del pensamiento en la especie humana se -- fusiona de alguna manera, con la cinemática del pensamiento en -- el individuo por medio de la estructura funcional, la cual significa tanto las autorregulaciones del viviente y las acciones del medio, -- como parte, y a cuyo nivel se establecen los valores de las regulaciones de las relaciones de sociabilidad como parte interrelacionada con el todo, en una palabra el conjunto de relaciones que -- constituyen la estructura básica del ser pensante, la base real sobre la cual se realiza la evolución del hombre.

Se puede deducir de los párrafos anteriores lo que diferencia y lo que une a cada una de las disciplinas enunciadas con la entropía: el grado de complejización de la materia como forma de separación y la complejización como resultado de cambios cuantitativos a cambios cualitativos emanados todos de la materia, -- como punto de unión. Lo que en la física son cambios puros de

energía, en la química, al ser un movimiento más complejo de la energía, la materia se complejiza; igual cosa sucede para los seres vivos y de éstos, el ser humano en particular como forma -- más acabada de la materia, con determinaciones más amplias en lo orgánico y en lo social. Así, la entropía como expresión cualitativa de los cambios energéticos en la física, va subiendo peldaños en su contenido para expresar relaciones de equilibrio o desequilibrio químico; relaciones de autorregulación y desequilibrio -- entre la materia orgánica y el medio externo para la biología; -- para el hombre, considerado como producto de múltiples determinaciones orgánicas y de su relación con otros hombres, expresa a -- nivel de pensamiento (que históricamente es su relación con otros hombres), regulaciones o desequilibrios entre el hombre y el medio; entre el hombre como unidad y el hombre como totalidad en tanto que relación con otros hombres. La entropía adquiere pues nueva cualidad acorde al nivel más elevado de estructura de la materia. Su contenido es a nivel social el del grado de equilibrio o de desequilibrio, aunado a procesos de autorregulación más complejos conforme a la materia está más estructurada, del hombre -- en relación con el hombre.

Así, en el proceso económico como forma superior de relación entre los hombres, la entropía adquiere el contenido del grado de equilibrio o desequilibrio de la unión del proceso de produc

ción y de la distribución en tanto que actividades humanas históricamente determinadas. Su expresión es la probabilidad de que un proceso económico mantenga su trayectoria condicionada históricamente, a partir de las determinaciones económicas particulares -- que conforman el contenido de ese proceso económico, es decir, - del proceso de producción y de distribución y sus respectivos condicionantes, las que a su vez enriquecerán el conocimiento de la - entropía en función de que para el conocimiento de la realidad es necesario partir de las formas concretas en que se manifiesta, -- analizar y abstraer dichas formas hasta llegar a su esencia, y de - ahí en sentido inverso, de lo abstracto a lo concreto para enriquecer el conocimiento de lo real. Y la entropía es una parte de la realidad; una forma que expresa el grado, el tipo de movimiento de los procesos reales.

- B) Acumulación y Reproducción de Capital; Relación analógica con los procesos ergódicos, anti-ergódicos y entropía.

La relación acumulación y reproducción del capital-entropía- procesos ergódicos y anti-ergódicos, es resultado de previamente haber considerado la relación entre la teoría de sistemas y el segundo principio de la termodinámica, y la referida a la analogía - entre el proceso económico y la entropía. Lo anterior en función de que la acumulación y la reproducción del capital es un eslabón más

particular que el proceso económico como tal, y en este sentido lo condiciona y es condicionado por el mismo. Es así como el análisis de nexos analógicos entre el proceso de acumulación y reproducción visto desde la esfera capitalista, con el segundo principio termodinámico y con los procesos ergódicos y anti-ergódicos, ampliará el conocimiento de las causas que determinan el desequilibrio del proceso económico visto tanto en los factores de estructura como en los superestructurales. En esto intervienen factores internos propios del proceso acumulación-reproducción capitalista, determinados históricamente, que en el plano de lo económico plantean como una forma de existencia el desequilibrio. Ahora bien, el desequilibrio económico tiene formas de expresión análogas a las observadas al estudiar los conceptos fundamentales de la teoría de sistemas y en ambas disciplinas subyace la noción de entropía como expresión del desequilibrio en general, producto del salto dialéctico planteado ya desde el Capítulo II y recalcado en el Capítulo III y en el párrafo A) del presente, por el cual a medida que se complejiza la materia (sus formas de existencia) la noción de entropía adquiere un contenido más amplio sin dejar de perder lo que en él es esencial: el grado de desequilibrio de un proceso.

Conviene advertir acerca de la interrelación existente entre la teoría de sistemas y la entropía, que se utilizará en el trans--

curso de este párrafo para ampliar el sentido del desequilibrio económico.

De lo expuesto, se procederá al análisis de las condiciones que constituyen las formas que reviste el fenómeno de desequilibrio en el modo de producción capitalista y la esencia de ese fenómeno, a través del estudio del desequilibrio en la acumulación y reproducción del capital, considerado este fenómeno como motor de comportamiento de la economía en general y de los desajustes que en ella se presentan. Podría hacerse la observación de una posición economicista respecto a la explicación de desajustes en el modo de producción capitalista. Sin embargo, el autor considera que no es así para este trabajo, ya que las concreciones que el proceso de acumulación y reproducción reviste, son producto de un desarrollo histórico que lo han condicionado como tal, y por tanto, producto de múltiples determinaciones que le dan a la acumulación y reproducción capitalista el carácter de tal, por lo que el análisis de éstas, conlleva al instrumental marxista como guía. Desde esta perspectiva, el análisis de la acumulación y reproducción desde el punto de vista del capital la llevará a efecto el autor, sin referirse a las deter

minaciones históricas que las condicionan, dejándolas sentadas - como conocidas en sus procesos, por la teoría marxista de la - Historia. *

Acotado lo anterior, se procederá a intentar probar la hipótesis de la existencia de una relación entre el proceso de acumulación y reproducción del capital y la entropía, utilizando las nociones de procesos ergódicos y antiérgódicos como puente metodológico que valide y facilite la relación expuesta y tomando en consideración lo vertido en el párrafo precedente.

a) Acumulación y reproducción de capital y relaciones de equilibrio y desequilibrio. (Un enfoque teórico)

Conforme a la obra de O. Lange "Teoría de la reproducción y de la acumulación",⁽⁵⁾ que servirá en este apartado como piedra de toque para esta exposición, se puede entresacar el siguiente marco

(5) O. Lange: "Teoría de la Reproducción y la Acumulación". Ediciones Ariel, Colección Demos, Barcelona, 1970.

* El lector puede referirse, para consultar esas determinaciones históricas que condicionan al proceso de acumulación y reproducción del capital, a las siguientes obras:
Baran, Paul A. "La Economía Política del Crecimiento". Ed. F.C.E., México, 1973. Baran, Paul A. y Sweezy, Paul M. "El Capital Monopolista". Siglo XXI Ed. Benetti Carlo. "La Acumulación en los Países Capitalistas Subdesarrollados". Ed. F.C.E. México, 1976. Lange, Oskar. "Economía Política". Ed. F.C.E. México, 1969. Luxemburgo, Rosa. "La Acumulación del Capital". Ed. Juan Grijalbo, México, 1967. Mandel Ernest. "Trata-

conceptual: "los objetos y los medios de trabajo reciben el nombre de medios de producción" y el proceso de producción en el cual se concretiza la reproducción y acumulación y forma parte del proceso económico, se define como la creación de unos objetos determinados (productos) mediante la aplicación del trabajo a ciertos medios de producción. Durante el proceso de producción, los objetos de trabajo y los medios de trabajo suelen desgastarse. Los primeros de estos medios de producción se gastan a lo largo de un sólo ciclo productivo, y llevan el nombre de medios rotativos; los demás medios de producción se gastan gradualmente en el proceso de producción en un lapso más amplio que los objetos de trabajo y llevan el nombre de medios de capital fijo. Si el proceso de producción asume un carácter constante, los medios de producción que han sido gastados en aquel proceso, han de sustituirse por nuevos medios de producción. De esta manera, durante este proceso existe la necesidad de una reposición de los medios de producción consumidos. Este proceso de reposición lleva el nombre de reproducción.

"Si la cantidad de medios de producción disminuye en las condiciones de una técnica dada, esto acarrea un descenso del producto. Las condiciones técnicas en las cuales se realiza la producción se definen como nivel de productividad, por el cual se entiende la cantidad de producto obtenido por unidad de trabajo invertido, -

do de Economía Marxista". Ed. ERA, México, 1972. Marx Carlos. "El Capital. Crítica de la Economía Política". Ed. F.C.E. Méx.

con el consiguiente consumo de medios de producción.

"Bajo el supuesto de un proceso técnico constante, en este caso es necesario para mantener la producción en un nivel constante, reponer de tiempo en tiempo totalmente a los medios de producción consumidos y, por tanto, hay que disponer en cada período productivo de la misma cantidad de fuerza de trabajo, es decir, de capacidad potencial de realización de trabajo.

"El proceso de producción en el cual se renuevan totalmente los medios de producción y la cantidad de fuerza de trabajo permanece constante (no habiendo progreso técnico) se le denomina proceso de reproducción simple. En condiciones de reproducción simple, la economía nacional no crece, sino que permanece estacionaria.

"Si durante el proceso productivo no se renuevan totalmente los medios de producción o la cantidad de trabajo empleada disminuye, entonces se denomina al proceso de reproducción, restringida.

"Si durante el proceso productivo los medios de producción se hallan no sólo totalmente renovados, sino que los mismos en su cantidad sufren periódicamente un incremento, aumentando igualmente la fuerza de trabajo, en grado suficiente para la pues-

ta en marcha de medios de producción suplementarios, en tal caso se dice que hay una reproducción ampliada.

"El proceso de ampliación de la cantidad de medios de producción justamente con la cantidad de fuerza de trabajo empleada, toma el nombre de acumulación.

"Así pues, en el caso de reproducción ampliada tiene que intervenir necesariamente el proceso de acumulación. Por el contrario, en el proceso de reproducción restringido interviene la llamada desacumulación. con la reproducción simple, la acumulación es igual a cero.

"En los diferentes procesos productivos es posible sentar ciertas leyes que llevan el nombre de leyes técnicas y de balance de la producción. En el proceso de producción existen sobre todo -- ciertas relaciones de carácter técnico, o sea que para utilizar una cantidad determinada de medios de producción es indispensable utilizar una cantidad determinada de medios de producción y de trabajo. Las cantidades de medios de producción y la fuerza de trabajo necesarias para la producción de una unidad de un producto -- dado se expresan mediante los llamados coeficientes técnicos o -- normas técnicas que se establecen sobre la base del proceso tecnológico aplicado. La relación concebida bajo el aspecto de unos balances de los medios de producción y fuerza de trabajo se deno

minan relaciones de balance.

"La diversidad de los sistemas de relaciones sociales ejerce sobre el proceso de reproducción una doble influencia: en primer lugar le dá una forma concreta, y en segundo, al producirse cambios en las relaciones sociales en cuyo seno tiene lugar el proceso productivo, a las leyes fundamentales técnico contables se suman unas relaciones suplementarias ligadas con las relaciones sociales. Así, en las condiciones capitalistas el carácter y la magnitud de la reproducción dependen de los beneficios esperados. La reproducción ampliada se dá mayormente en aquellas ramas de la producción que se distinguen por una alta rentabilidad. El sector productivo que no rinde la media de beneficio esperado, se vá restringiendo gradualmente o llega a desaparecer.

"Marx, en "El Capital", emprende el análisis de la reproducción en forma de esquemas que se pueden representar como fórmulas. Así, sea c el insumo de medios de producción consumidos en una unidad de tiempo, de período una año; la cantidad de trabajo realizado durante ese mismo período se supone constituido por $v+m$; ésto significa en las condiciones del modo de producción capitalista, que c expresa lo que denomina Marx capital constante, es decir, la parte de valor incorporado a la mercancía por el trabajo objetivado, nuevo contenido de los medios de producción gastados; v expresa al capital variable, es decir, la

parte del capital invertido en salarios; m expresa la plusvalía, - es decir, el aumento de valor procedente de la parte no pagada -- del trabajo asalariado. Las tres partes del valor: c , v y m se hallan reunidas en la figura concreta de la mercancía elaborada. - Las magnitudes c , v y m se miden a través de unidades monetarias. Así medidas, no se altera la esencia de las leyes técnico contables. Sin embargo, esto limita la investigación de las leyes técnicas y de balance a las economías capitalistas o socialistas -- contemporáneas.

"Mediante las anteriores hipótesis, se obtiene la fórmula de - Marx $P = c + (v + m)$, la cual significa que la inversión total P imprescindible para la producción de un producto dado X , es --- igual a la suma de c , o sea el valor de los medios de producción consumidos, y de $(v + m)$, o sea las inversiones de trabajo que a su vez representan la suma del componente v (costo de la fuerza de trabajo) y de m (o sea el valor del producto excedente o plusvalía). La totalidad del gasto $P = c + (v + m)$ determina el valor - del producto X . El componente $(v + m)$ lleva el nombre de insu- mo de trabajo vivo para diferenciarlo de c , que son los medios - de producción consumidos, que son a su vez producto del trabajo - y representa determinadas reservas de trabajo incorporadas ante-- riormente.

"A la parte $Y = v + m$ del producto global se le denomina - valor añadido anual total o renta nacional (social).

"A la relación entre Y y P se le denominará relación renta-producto y a la inversa, o sea la relación entre P y Y se denominará eficiencia del trabajo vivo (Esta relación cuando las magnitudes P e Y están expresadas en unidades físicas toma el nombre de productividad).

"Cabe afirmar que en los países capitalistas se producen claras oscilaciones en la relación renta-producto, lo cual está vinculado con el curso del ciclo coyuntural. -

"En cambio, al analizar la magnitud de la relación renta producto en las diferentes ramas de la producción cabe afirmar que - en general, los sectores de la economía nacional más fuertemente equipados en medios de producción se distinguen por una menor -- relación renta producto, lo que se explica por el hecho de que al incrementar la dotación de un sector económico dado en medios -- de producción, aumenta la participación de la reposición de medios productivos y se reduce a la vez la participación en la producción global del componente $Y = v + m$. Por consiguiente, la - relación Y / P disminuye. Así por ejemplo, en la agricultura, - la renovación de los medios de producción es relativamente menor (en relación con el producto global), mientras que una fracción --

menor del producto constituye en este sector de la economía valor añadido. En la industria la situación se plantea al revés, es decir, que la parte relativamente mayor del producto global está destinado a la reposición de los medios de producción consumidos.

"Surgen ahora otras dos relaciones: 1) La composición orgánica de los insumos, k (no debe confundirse con el concepto introducido por Marx de composición orgánica del capital, a través del cual se entiende la relación entre el capital constante invertido en los medios de producción K y el capital variable V), la cual es la relación entre el valor de los medios de producción consumidos c y el valor de la inversión en medios de trabajo v (El valor de la fuerza de trabajo se denomina insumo trabajo remunerado bajo la forma de salario), es decir $k = c/v$. 2) Tasa de producto excedente s , definida como la relación entre el valor del producto excedente y el insumo trabajo remunerado bajo la forma de salarios, o sea $s = m/v$; en las condiciones capitalistas esta relación se denomina - de acuerdo con Marx - tasa de plusvalía.

"La composición orgánica de los insumos $k = c/v$ se ajusta al concepto marxista de la composición orgánica del capital, definida como la relación entre el capital constante K , invertido en la producción y el capital variable V , sólo cuando el período de rotación del capital variable fuese el mismo y ascendiera - como Marx presupuso - a un año. En realidad, las cosas no son así.

Los medios de capital fijo (edificios, maquinaria, instalaciones, etc) suelen servir para la producción durante un período de 20 a 30 años por término medio, mientras que los medios de capital de funcionamiento -materias primas- se gastan generalmente en medio año y a veces, el consumo de éstos últimos dura unas semanas, o sea que "giran" varias veces o hasta decenas de veces al año.

"En relación con esto, Marx introdujo el concepto de período de rotación del capital constante (El Capital, Tomo II, p. 136 y ss)*** que significa el promedio de duración de los medios de producción en el proceso productivo, o sea la duración económicamente media, y no necesariamente del desgaste físico. Dicho período se le designará con el símbolo τ . El inverso del período de rotación del capital τ se le denominará índice de reposición (el concepto de la tasa de reposición no debe confundirse con la cuota de amortización. A través de la amortización se entiende el ahorro de unos determinados fondos de dinero para la reposición, por lo cual esa suma no tiene que ser equivalente en principio al desgaste que pudo verificarse en un momento dado. El determinar la cuota de amortización se vincula al problema de la financiación de la producción) y se le designará con la letra μ . De --

*** Carlos Marx; "El Capital", Tomo II, Ed. F.C.E, México - 1968. Acotación mfa.

ahí la fórmula $\mu = 1/\tau$. Así por ejemplo si el período de rotación del capital $\tau = 10$ años, se tiene que el índice de reposición $\mu = 1/10$.-

"Si se señala con K el capital constante invertido en la producción, se obtiene la siguiente relación: $c = K\mu = K\frac{1}{\tau}$, o sea $K = c\tau$.

"De la misma manera se plantea el problema del capital variable V, que no significa lo mismo que el fondo anual salarial v. Estas magnitudes se superpondrán sólo si el período de pago de la remuneración del trabajo fuese de un año. El período de rotación del capital variable, se designará por θ y en general, el capital variable V es igual al fondo anual de salarios v multiplicado por el período de rotación del capital variable, o sea $V = v\theta$.

"De esta manera, la composición orgánica del capital, según la definición de Marx, es igual a: $\frac{K}{V} = \frac{c\tau}{v\theta} = \kappa \frac{\tau}{\theta}$ es decir, el producto de la composición orgánica de los insumos por la relación de los períodos de rotación del capital constante y del capital variable. Así, sólo en casos específicos, es decir si $\tau = \theta$, la composición orgánica del capital es igual a la composición orgánica de los insumos, o sea $\frac{K}{V} = \frac{c}{v}$.-

"A continuación se analizará el coeficiente denominado tasa de

beneficio p . Se trata de la relación entre el valor del producto excedente o plusvalía y la suma del capital constante y el capital variable:

$$p = \frac{m}{K+V} = \frac{m}{c\tau + v\vartheta} = \frac{\frac{m}{v}}{\frac{c\tau}{v} + \vartheta} = \frac{s}{k\tau + \vartheta} = \frac{s}{(k\tau + 1)\vartheta}$$

y de acuerdo con la relación $\frac{K}{V} = k \frac{\tau}{\vartheta}$, se obtiene: $p = \frac{s}{(\frac{K}{V} + 1)\vartheta}$ con

esta fórmula se determina la dependencia de la tasa de beneficio de la composición orgánica del capital $\frac{K}{V}$, de la tasa de producto excedente s , así como el período de rotación del capital variable ϑ . De igual manera es posible determinar el tipo de beneficio \bar{p} en relación con el propio capital constante K :

$$\bar{p} = \frac{m}{K} = \frac{m}{c\tau} = \frac{\frac{m}{v}}{\frac{c}{v}\tau} = \frac{s}{k\tau} . \text{ Como resultado, se tiene que -}$$

la tasa de beneficio sobre el capital constante es igual a la de -- producto excedente s dividida por el producto de la composición orgánica de los insumos y el período de rotación del capital constante τ : Esta última fórmula se convertirá, utilizando la rela-

$$\text{ción } k = \frac{K}{V} \cdot \frac{\vartheta}{\tau} . \text{ Así se obtiene: } \bar{p} = \frac{s}{k\tau} = \frac{s}{\frac{K}{V} \vartheta} . -$$

"De las fórmulas p y \bar{p} , resulta que dada una tasa de valor excedente s y un período de rotación del capital variable ϑ , la tasa de beneficio disminuye cuando aumenta la composición or-

gánica del capital. Se trata en este caso, de la conocida afirmación de Marx sobre la tendencia a la disminución de la tasa de beneficio en la economía capitalista como resultado del incremento constante de la composición orgánica del capital.

"Sin embargo, surgen ciertas complicaciones. De las fórmulas $p = \frac{s}{(\frac{K}{V} + 1)}$, así como $\bar{p} = \frac{s}{\frac{K}{V}}$, resulta que si se pudiera reducir el período de rotación del capital variable, la tasa de beneficio aumentaría aún cuando la composición orgánica del capital siguiese siendo constante o incluso se incrementase.

"Este hecho resulta fácil de aclarar. El acortamiento del período de rotación del capital variable significa que el proceso de producción con un mismo fondo salarial v puede ser atendido con menos capital variable $V = v \cdot \dots$.

"Con el fin de analizar las posteriores relaciones estructurales se convierte la fórmula del producto global $P = c + v + m$ en:

$P = \left(\frac{c}{v} + \frac{v}{v} + \frac{m}{v} \right) v = (\kappa + 1 + s) v$. De esto resulta que con una composición orgánica constante de los insumos κ y una cuota constante de valor excedente s , el producto global es proporcional al insumo de fuerza de trabajo v . El coeficiente de proporcionalidad de esta relación es la expresión $\kappa + 1 + s = \frac{P}{v}$, la cual significa la magnitud del producto global correspondiente a la

unidad de la fuerza de trabajo v . -

"También será conveniente utilizar en los análisis siguientes - los llamados coeficientes (parámetros) de insumos, que juegan papel importante en los modernos análisis insumo-producto de la producción, por cuanto determinan la magnitud de los insumos -me--dios de producción o fuerza de trabajo- indispensables para la elaboración de una unidad de producto y por consiguiente, expresan - la participación de los medios de producción o de la fuerza de trabajo en el valor del producto.

"El coeficiente de insumo de medios de producción, es decir, la inversión de medios de producción correspondiente a una unidad de producto es: $a_c = \frac{c}{p}$. De la misma manera, el coeficiente - de insumo fuerza de trabajo por unidad de producto es: $a_v = \frac{v}{p}$. Asimismo, el coeficiente $a_m = \frac{m}{p}$ determina qué fracción del -- producto global constituye el producto excedente, o sea la cuantía de trabajo excedente por unidad de trabajo global.

"De tales definiciones resulta que $a_c + a_v + a_m = 1$; que -- cada coeficiente es < 1 y que todos son positivos.

"Señálese ahora que la relación renta-producto $\frac{Y}{P}$ puede deter--minarse mediante los coeficientes a_v y a_m . De hecho,

$\frac{Y}{P} = \frac{v+m}{P} = a_v + a_m$. Del mismo modo, la composición orgánica de los insumos k así como la tasa de producto excedente s pueden expresarse mediante los coeficientes a_c , a_v y a_m . Así

$$K = \frac{c}{v} = \frac{a_c P}{a_v P} = \frac{a_c}{a_v} \quad ; \quad s = \frac{m}{v} = \frac{a_m P}{a_v P} = \frac{a_m}{a_v} \quad \text{"} . (6)$$

El bagaje de definiciones y relaciones que se han expuesto -- hasta aquí, procedentes de la obra de Lange ya citada, permitirán comprender en lo que sigue de la exposición de una manera más sencilla, las condiciones de equilibrio y desequilibrio del proceso de reproducción para el esquema marxista de dos sectores de la economía nacional, o sean el sector productor de bienes de producción y el sector productor de bienes de consumo, así como la extensión del esquema marxista a la economía nacional dividida -- multisectorialmente. Asimismo, la influencia de las inversiones en el aumento de la producción y las características que aquella -- reviste en el equilibrio y el desequilibrio del proceso de producción y por ende en la reproducción y la acumulación de capital.

Cabe hacer la aclaración que para facilitar el objetivo anterior sólo se citarán en lo que sigue los principios y las ecuaciones fundamentales que determinan el equilibrio y el desequilibrio de la

(6) Lange, Oskar, Op. cit. Capítulo I "Teoría General de la Reproducción".

reproducción y acumulación de capital, dejando de lado los desarrollos causales de esos principios y ecuaciones fundamentales, remitiendo al lector directamente a la obra de Lange ya citada.

La condición de equilibrio del proceso de reproducción simple, considerando el hecho de que en ésta el producto global contiene la cantidad de medios de producción necesaria para la renovación de los medios de producción consumidos, es: $c_2 = v_1 + m_1$, o sea, que los medios de producción consumidos por el sector II de la economía (encargado de la producción de bienes de consumo) c_2 , sea igual que los medios de consumo que el sector I (encargado de la producción de los bienes de producción) adquiere del sector II por medio del fondo salarial del sector I (v_1) y de la plusvalía o excedente que se produce en el sector I (m_1) que representa el consumo de los capitalistas de ese sector. Así, la relación de equilibrio depende solamente de la relación de los productos globales de los dos sectores; sin embargo, no depende de las escalas de los planes de producción sectoriales. Por tanto, se da el hecho de que un aumento doble de los productos globales en los dos sectores no altera el equilibrio existente del proceso de producción. La condición subyacente en el proceso de reproducción simple es que la plusvalía generada en ambos sectores se emplea para el consumo, y no para la inversión en una proporción determinada, por lo cual, al realizar

se teóricamente bajo estos supuestos los productos en el mercado de bienes, sólo existe como resultado la posibilidad de reponer en la misma escala la producción global de ambos sectores.

Desde el punto de vista de la reproducción ampliada para una economía dividida como antes en dos sectores productivos, tomando en cuenta para este caso que en la reproducción ampliada no se consume la totalidad del producto excedente (m), la parte no consumida constituye la acumulación y, dividiendo a (m), en m_c , o sea la parte de acumulación asignada al aumento de c , en m_v o sea la parte de acumulación asignada al aumento de v , y m_o como la parte consumida del producto global, y considerando además que m puede dividirse en: $m_{1c} = m_{1c1} + m_{1c2}$; $m_{1v} = m_{1v1} + m_{1v2}$; $m_{2c} = m_{2c1} + m_{2c2}$ y $m_{2v} = m_{2v1} + m_{2v2}$, lo que significa que la acumulación se invierte en sectores diferentes al sector del cual procede y en él mismo (Ej: $m_{1c} = m_{1c1} + m_{1c2}$, que significa que el excedente m_c asignado al incremento de c , procedente del sector I, (m_{1c}), se acumula en el sector I (m_{1c1}) y en el sector II (m_{1c2}), la condición de equilibrio del proceso de reproducción ampliada comparando la dotación de ambos sectores en medios de producción, con la producción del sector I, da la ecuación:

$$c_2 + m_2c_1 + m_2c_2 = v_1 + m_1v_1 + m_1v_2 + m_{1o}, \text{ lo que significa que existe equilibrio del proceso de reproducción ampliada --}$$

cuando existe equilibrio de los flujos intersectoriales. Cuando se da éste, no tiene importancia dónde se invierta la acumulación de un sector determinado, pero la tiene dónde se haya realizado dicha acumulación. En relación con esto, haciendo que $m_2^c = m_2^c c_1 + m_2^c c_2$ y $m_{1v} = m_{1v} v_1 + m_{1v} v_2$ de la ecuación anterior, se obtiene la ecuación de equilibrio: $c_2 + m_2^c = v_1 + m_{1v} + m_{1o}$.

Si se designan con a a los coeficientes (a_c) o (a_v), y con α a los coeficientes (cuotas) de acumulación, los cuales determinan qué parte del producto global del Sector I o del Sector II constituye el producto adicional consumido, se tiene que la ecuación

$c_2 + m_2^c = v_1 + m_{1v} + m_{1o}$ se puede expresar como:

$$(a_{2c} + \alpha_{2c}) P_2 = (a_{1v} + \alpha_{1v} + \alpha_{1o}) P_1 ; \text{ de aquí, } \frac{P_1}{P_2} = \frac{a_{2c} + \alpha_{2c}}{a_{1v} + \alpha_{1v} + \alpha_{1o}}$$

y tomando en consideración que $a_{1c} + \alpha_{1c} + a_{1v} + \alpha_{1v} + \alpha_{1o} = 1$, se transforma la ecuación anterior en $\frac{P_1}{P_2} = \frac{a_{2c} + \alpha_{2c}}{1 - a_{1c} - \alpha_{1c}}$. Las

dos formas de expresión de $\frac{P_1}{P_2}$ fijan la proporción entre el va-

lor de la producción del Sector I y del Sector II (en relación con los coeficientes de insumo y de acumulación) que garantiza el equilibrio del proceso de reproducción ampliada. Sin embargo, los coeficientes α_{1c} y α_{2c} dependen de las opciones económicas.

En las condiciones de la economía capitalista, las magnitudes α_{1c} y α_{2c} vienen influidas por las numerosas decisiones de

los empresarios capitalistas, las cuales están basadas en la rentabilidad esperada de las inversiones realizadas en los nuevos medios de producción, por lo cual los traslapes en el factor rentabilidad determinan que las condiciones de equilibrio expuestas en la reproducción ampliada sean un caso teórico, que no corresponde en el sistema capitalista a la realidad y, por el contrario, determinen un grado de desequilibrio constante en la economía, expresado por las variaciones en la relación $\frac{P_1}{P_2} = \frac{a_{2c} + \alpha_{2c}}{1 - a_{1c} - \alpha_{1c}}$, aumentando o disminuyendo, y del incumplimiento real de la condición de equilibrio del proceso de reproducción ampliada (la ecuación anterior), hace que dicho proceso no pueda realizarse. Así, en el proceso de reproducción intervienen entonces los llamados "estrangulamientos" y se produce una contracción de la producción proporcional a la disposición de aquellos medios cuya oferta sea escasa. De no mantenerse la condición de equilibrio de la reproducción ampliada, la escala de producción sufre una disminución; se adapta al "estrangulamiento". La reproducción ampliada se da cuando $v_1 + m_1 > c_2$. Introduciendo un coeficiente de equilibrio**** $Q = \frac{m_c}{v_1 + m_1 - c_2}$ se puede indicar que cuando $Q = 1$, hay una reproducción ampliada equilibrada; cuando $Q < 1$, no toda la acumulación de medios de producción se utiliza para inversiones. en el caso de que Q rebase el valor 1, en la economía capitalista surge una tensión

**** El coeficiente de equilibrio Q , se utiliza como lo hace O. Lange en "Teoría de la . . .".

inversora que produce inflación y subida de precios en los medios de producción. Asimismo, se puede establecer el coeficiente de -desequilibrio para la reproducción ampliada, como $D = Q - 1$; el equilibrio se da sólo cuando $D = 0$

Para los esquemas multisectoriales de la reproducción, los -- cuales se derivan de suponer una economía nacional dividida en n sectores y ramas, donde X_i y x_i ($i=1,2,\dots,n$) representan -- respectivamente el producto global y el producto final de un sector determinado i , mientras que x_{ij} significan los flujos reproducti-- vos que pasan de un sector dado i a un sector determinado j . -- Si X_0 significa la totalidad de la fuerza de trabajo; x_{0i} ($i=1,2,\dots,n$) la cantidad de fuerza de trabajo de los diversos sectores de la -- producción, y x_0 la cantidad de fuerza de trabajo empleada fuera de la producción o no empleada, se puede elaborar con estos su-- puestos un balance de la producción con $n+1$ ecuaciones (las del producto global para cada sector y la referente a la fuerza de tra-- bajo). Las ecuaciones de balance se representan en forma abre-- viada:

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + x_i \quad (i=0,1,2,\dots,n) \quad (1)$$

Si en forma de columnas se analizan las ecuaciones de balan-- ce, la suma de las expresiones constituyen el costo de la produc-- ción del sector dado i , compuesto de los insumos de trabajo -- x_{0i} y los insumos de producción ($x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{ni}$). Dado -

que el valor del producto en principio es mayor que el costo de -- producción, surge un cierto excedente m_i . Existen además en -- cada sector productivo las llamadas ecuaciones de insumo de la -- producción (ecuación de costos), que se puede expresar como sigue

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ji} + x_{oi} + m_i \quad (2)$$

donde $\sum_{j=i}^n x_{ji} = c_i$; $x_{oi} = v_i$; $\therefore X_i = c_i + v_i + m_i$.

De los segundos miembros de las ecuaciones (1) y (2) se obtienen las ecuaciones de equilibrio de los flujos intersectoriales:

$$\sum_{j=i}^n x_{ji} + x_{oi} + m_i = \sum_{j=i}^n x_{ij} + x_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

que pueden denominarse también ecuaciones de equilibrio entre la demanda y la oferta de cada sector. Suprimiendo x_{ii} de (3), - queda:

$$\sum_{j \neq i}^n x_{ji} + x_{oi} + m_i = \sum_{j \neq i}^n x_{ij} + x_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.a)$$

Para el proceso de reproducción ampliada, dividiendo x_i en la parte destinada al consumo $x_i^{(o)}$ y la parte destinada a la -- inversión I_i , y tomando en consideración que I_i puede locali-- zarse en diferentes sectores, I_i se divide en los elementos -- $I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{in}$, que significan la cantidad de producto final de un sector dado i destinado a ser invertido respectivamente en -- los sectores $1, 2, \dots, n$ determinados. Por consiguiente, -----

$x_i = x_i(0) + I_i = x_i(0) + I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{in}$, con lo cual se puede obtener una tabla de insumo-producto ampliada de balance de la producción. $x_i(0)$ se puede dividir en x_{i0} y x'_{oi} , o sea - la fuerza de trabajo empleada para la reproducción y para la inversión; la ecuación (3.a), considerando que $X_i = x_i(0) + I_i$, toma la forma:

$$\sum_{j \neq i}^n x_{ji} + x_{oi} + m_i = \sum_{j \neq i}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n I_{ij} + x_i(0) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3.b)$$

y para la producción global de la economía nacional toma la forma:

$$X = \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ji} + x_{oi} + \sum_{i=1}^n m_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n x_{ij} + \sum_{j=i}^n x_i$$

Introduciendo los coeficientes técnicos de producción $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}$

($i, j=1, 2, \dots, n$) que significan qué cantidad de producto de un sector dado i es indispensable para la producción de las unidades (físicas o de valor) del sector dado j , es posible asignar los flujos intersectoriales sobre la base de los respectivos coeficientes técnicos (coeficientes de insumos al ser valorados en dinero) y de la magnitud del producto global de los diferentes sectores. Desarrollando las ecuaciones de balance de acuerdo a los coeficientes técnicos, queda un sistema de ecuaciones de la forma:

$$\begin{aligned} (1 - a_{11}) X_1 - a_{12} X_2 - \dots - a_{1n} X_n &= X_1 \\ - a_{21} X_1 + (1 - a_{22}) X_2 - \dots - a_{2n} X_n &= X_2 \\ - a_{n1} X_1 - a_{n2} X_2 - \dots + (1 - a_{nn}) X_n &= X_n \end{aligned} \quad (4)$$

La solución de (4) introduce en el análisis las relaciones --- (proporciones) que deben existir entre los productos globales y los productos finales de los diferentes sectores.

Si los productos finales de (4) se dividen en la parte destinada al consumo k_i y la parte destinada a la inversión i_i , las -- proporciones existentes entre los productos globales y los productos finales dependen igualmente de dichos coeficientes de consumo y de inversión. Planteando la solución de (4) como

$$X_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \text{donde} \quad A_{ij} = \frac{D_{ji}}{D}$$

son los elementos de la matriz inversa a la matriz de coeficientes técnicos

$\sum_{j=1}^n A_{ij} x_j$, que se puede desarrollar como sigue:

$$X_i = A_{i1} x_1 + A_{i2} x_2 + \dots + A_{ik} x_k + \dots + A_{in} x_n \quad (i=1, 2, \dots, n),$$

de lo cual resulta que el producto global de un sector dado i -- constituye la suma ponderada de los productos finales de todos los sectores productivos. El elemento ponderador A_{ik} que interviene en esa suma significa en qué medida hay que incrementar la - producción global del sector dado i , si la producción final de - un sector determinado k ha de incrementarse en una unidad. Los coeficientes A_{ik} llevan el nombre de coeficiente de exigencias adicionales o coeficientes de intensidad de producto y explican de qué manera el incremento de la producción de bienes de consumo

influye en el empleo de mano de obra. Así, $\Delta_i^* = \frac{\partial X_i}{\partial x^k}$

Para el caso que se acaba de exponer, de los esquemas multi sectoriales de la reproducción, las situaciones de desequilibrio -- son similares a las expuestas cuando se tocó párrafos arriba el -- caso de la reproducción ampliada.

Toca el turno ahora al análisis de la influencia de las inversiones en el aumento de la producción. -

Por acumulación se entiende la parte del producto final no consumida; la inversión consiste en la utilización de la fracción no consumida del producto final en tanto que medios de producción y -- por consiguiente, su utilización en el proceso productivo. To-- mando en consideración tanto los flujos reproductivos como los flu-- jos de inversión, se puede obtener una ecuación de balance sobre la base de la tabla insumo-producto de balance ampliada, que cobra el siguiente aspecto:

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n I_{ij} + x_i^{(0)} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

que puede escribirse como:

$$X_i = \sum_{j=1}^n (x_{ij} + I_{ij}) + x_i^{(0)} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (5.a)$$

Definiendo los coeficientes de inversión $b_{ij} = \frac{I_{ij}}{\Delta X_j}$, donde -

ΔX_j representa el aumento de la producción global del sector dado j y suponiendo que el Δ del producto global de un determinado sector sea proporcional al flujo de inversión de otro sector, se tiene entonces que b_{ij} es igual a la relación capital-producto - c_{ij} , definida como: $c_{ij} = \frac{K_{ij}}{X_j}$; $\therefore K_{ij} = c_{ij} (X_j)$; como K_{ij}

y X_j son funciones de tiempo, se tiene que $K_{ij}(t) = c_{ij} X_j(t)$. -

Suponiendo un proceso contínuo, se tiene: $\frac{d K_{ij}}{dt} = c_{ij} \frac{d X_j}{dt}$; -

como $\frac{d K_{ij}}{dt} = I_{ij}$, entonces $I_{ij} = c_{ij} \Delta X_j$; $\therefore b_{ij} = c_{ij}$, y

$a_{ij} = b_{ij}$, sólo cuando el período de rotación alcanza un año. Si - la inversión dura más de un año y su período de rotación alcanza a T_{ij} , entonces $b_{ij} = a_{ij} T_{ij}$, donde T es el período de rotación. Diferenciando en función del tiempo se obtiene:

$\frac{d K_{ij}}{dt} = b_{ij} \frac{d X_j}{dt}$, y como $\frac{d K_{ij}}{dt}$ constituye el incremento del

capital constante en una unidad de tiempo, o sea la inversión I_{ij} , se tiene:

$$I_{ij} = b_{ij} \frac{d X_j}{dt} \quad (6)$$

lo que significa que la magnitud de inversión I_{ij} es proporcional a la velocidad de incremento del producto global del sector j en

un momento dado. Utilizando (6) en (5), queda:

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n b_{ij} \frac{dX_j(t)}{dt} + x_i^{(0)}(t) \quad (7)$$

(i=1, 2, ..., n)

Si se parte por hipótesis que son conocidas las tasas de inversión

$$\text{bruta } \alpha_i = \frac{X_i(t) - x_i^{(0)}}{X_i(t)} \quad (8)$$

$$\text{o bien las } \text{tasas de consumo } \star_i = \frac{x_i^{(0)}}{X_i(t)} \quad (9)$$

para cada uno de los sectores de la producción, se pueden elimi--

nar de la ecuación (7) las funciones $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$ y -

las funciones $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$ y tomando en cuenta -

que $\alpha_i = 1 - \star_i$, de la ecuación (8) resulta que:

$$X_i(t) - x_i^{(0)} = \alpha_i X_i(t) \quad \text{y } \cdot \cdot$$

$$\alpha_i X_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n b_{ij} \frac{dX_j(t)}{dt} \quad (7.a)$$

(i=1, 2, ..., n)

$$\text{o bien: } -\alpha_i X_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n b_{ij} \frac{dX_j(t)}{dt} = 0 \quad (7.b)$$

(i=1, 2, ..., n)

Si se supone la solución de (7.b) de la forma $X_i(t) = \star_i e^{vt}$, -

sustituyendo ésto en (7.b) en lugar de $X_i(t)$, queda:

$$-\alpha_i \kappa_i e^{vt} + \sum_{j=1}^n a_{ij} \kappa_j e^{vt} + \sum_{j=1}^n b_{ij} \kappa_j v e^{vt} = 0 \quad (7.c)$$

(i=1, 2, ..., n)

o bien, tras dividir por e^{vt} , queda la ecuación anterior en la forma:

$$-\alpha_i \kappa_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} \kappa_j + \sum_{j=1}^n b_{ij} \kappa_j v = 0 \quad (7.d)$$

(i=1, 2, ..., n)

El sistema de ecuaciones (7.b) queda resuelto por $X_i = \kappa_i e^{vt}$ (i=1, 2, ..., n) si κ_i , así como el parámetro v cumplen el sistema (7.d), y esto se cumple sólo cuando el determinante de ese sistema es igual a cero. Por tanto, con el determinante del sistema es posible calcular v y con (7.d) calcular κ_i .

La representación más adecuada de la solución del sistema de ecuaciones (7.b) es:

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n h_j \kappa_{ij} e^{vjt} \quad (10)$$

que en el momento (t=0), toma la forma: $X_i(0) = \sum_{j=1}^n h_j \kappa_{ij}$ (10.a)

(i=1, 2, ..., n)

Esto significa que la suma ponderada de los coeficientes κ_{ij} , da el valor de las funciones del producto global $X_i(t)$ en el momento inicial (es decir en el momento cero). Los coeficientes h_j están determinados por las condiciones de partida del momen_

to investigado. Las magnitudes v_i dependen de las condiciones técnicas de la producción y del incremento de la inversión, así -- como de las decisiones económicas relativas a la distribución del producto global entre el consumo y la inversión bruta. Esto se -- expresa al decir que las magnitudes v_1, v_2, \dots, v_n dependen de la estructura tecnoeconómica de la producción. Si v_1, v_2, \dots, v_n son reales, representan el índice de incremento del producto global de un sector dado.

Si $X_i(t)$ viene expresado por $h_i k_{i1} e^{v_1 t}$, la velocidad de aumento del producto global $X_i(t)$ es igual a $\frac{dX_i(t)}{dt} = h_i k_{i1} v_1 e^{v_1 t}$. Pero la tasa de crecimiento del producto glo-- bal consiste en la relación entre la velocidad de incremento del -- producto global y su magnitud en un determinado momento; es --- igual a:

$$\frac{\frac{dX_i(t)}{dt}}{X_i(t)} = \frac{h_i k_{i1} v_1 e^{v_1 t}}{h_i k_{i1} v_1 e^{v_1 t}} = v_1 \quad (11)$$

De manera que v_1 da la tasa de crecimiento del producto -- global.

La fórmula relativa a la tasa de crecimiento se obtiene divi-- diendo los dos miembros de la ecuación $\frac{dX_i(t)}{dt}$, entre $X_i(t)$, --

calificándose al segundo miembro de la división obtenida como las tasas parciales de crecimiento, mientras que las expresiones que define la división se llaman tasa general de crecimiento del producto global de un sector dado i . Las tasas parciales de crecimiento pueden ser mayores, menores o iguales a cero. En relación con ello, los respectivos componentes de las sumas determinantes del producto global, son funciones crecientes, decrecientes o constantes.

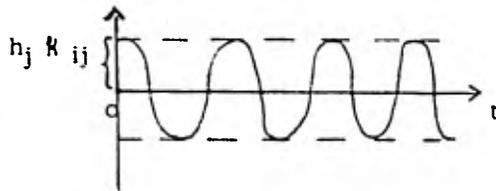
El aumento o decremento global del producto global de un sector dado i , en tanto que función temporal de t : $X_1(t) = h_1 k_{i1} e^{v_1 t} + \dots + h_n k_{in} e^{v_n t}$, se compone de n tendencias, -- entre las cuales una de ellas (la mayor o la menor) es dominante.

Cuando algunas tasas parciales de crecimiento son positivas y otras negativas, domina la expresión creciente, con la correspondiente tasa de crecimiento más elevada. La tendencia al crecimiento suele triunfar siempre al cabo de cierto tiempo sobre la tendencia al descenso. En conclusión: siempre se llega al afianzamiento de cualquier tendencia dominante: creciente o decreciente o, en casos excepcionales, constante.

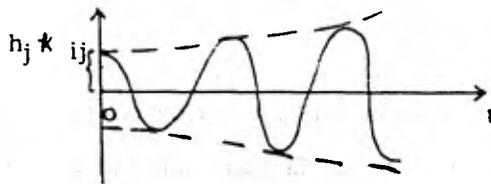
Si en la expresión $X_1(t) = \sum_{j=1}^n h_j k_{ij} e^{v_j t}$, para la cual --

v_j sea un número complejo, la función es periódica y la longitud

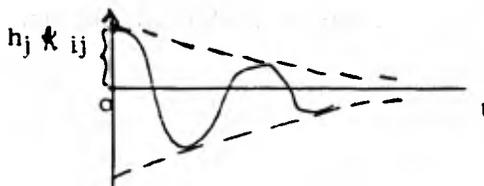
del periodo T_i de la función periódica analizada, o sea la amplitud del ciclo, depende del argumento de la función trigonométrica, en este caso, la magnitud $e^{\alpha_j t}$. Lo que α_j determina, se consideran tres casos: a) Si $\alpha_i = 0$, entonces $e^{\alpha_j t} = 1$, y por lo tanto el componente cíclico es una función de una amplitud constante, de oscilaciones $h_j \neq i_j$



b) Si $\alpha_i > 0$, en este caso el componente cíclico tiene una oscilación creciente. Teniendo en cuenta el rápido ritmo de crecimiento, dichas oscilaciones asumen un carácter explosivo



c) Si $\alpha_i < 0$, el componente cíclico tendrá una oscilación de creciente (amortiguada, que se va extendiendo), por cuanto entonces el factor $e^{\alpha_j t}$ es una función exponencial decreciente.



De lo anterior dimana, que si las expresiones que integran el sistema de resolución de la ecuación diferencial (3.b) tienen exponentes v_j complejos, entonces los respectivos componentes son cíclicos, con un periodo que asciende a $T_j = \frac{2\pi}{\beta_j}$ y una oscilación constante, explosiva o decreciente, según sea el signo de α_j .

Si se tiene más de un componente cíclico de oscilaciones crecientes, en tal caso, después de un tiempo dado t , uno de ellos, aquel cuyo α_j sea mayor, se vuelve dominante y los demás componentes sobre el fondo del dominante van perdiendo gradualmente su importancia; en una palabra, con el decurso del tiempo van -- siendo superados cada vez más por el ciclo dominante. También se ven superados por el ciclo dominante los ciclos con oscilaciones constantes y los ciclos con oscilaciones decrecientes, que se van extinguiendo con el tiempo.

Las diversas soluciones del sistema de ecuaciones diferenciales (7.b), que son funciones de la producción global $X_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, n$) se reducen a dos tipos de componentes. a las tendencias crecientes o decrecientes (y en casos excepcionales, constantes) así como a los ciclos con oscilaciones constantes, crecientes o menguantes. Se da el caso que entre las tendencias, una - suele ser por lo regular dominante, al igual que entre los ciclos

puede darse un ciclo dominante con oscilaciones crecientes.

En la economía capitalista se observa la existencia de ciclos - vinculados a una tendencia, la cual suele ser en la mayoría de los casos creciente; asimismo, las tasas de inversión bruta α_i aparecen en las ecuaciones de balance como magnitudes variables determinadas por ciertas condiciones relativas a la rentabilidad, lo -- -- cual hace que en las soluciones de las ecuaciones de balance el -- componente cíclico aparezca al lado del componente de tendencia. Para suscitar oscilaciones en el ciclo, son necesarias perturbaciones que alteren el equilibrio establecido en las líneas de tendencia. En la economía capitalista dichas perturbaciones se manifiestan bajo los aspectos de progreso técnico y organizativo, introducción de nuevas materias primas, cambios repentinos en la demanda (por ejemplo, como consecuencia de las inversiones en armamentos u otras inversiones públicas). Estas perturbaciones hacen -- que el carácter cíclico sea una de las características constantes del desarrollo de la economía capitalista. Además, las diferencias o desajustes que se observan entre el período de reposición del capital constante, la amortización del mismo y la "sensibilidad" que haya respecto a invertir en capital constante por parte del capitalista en función de la rentabilidad o ganancia esperada, coadyuvan aún más al desarrollo cíclico capitalista.

b) Acumulación y Reproducción de Capital y Procesos Ergódicos y Antiergódicos. -

Antes de proceder al análisis de las semejanzas entre la acumulación y reproducción de capital con los procesos ergódicos y - antiergódicos, conviene hacer una recapitulación de la analogía entre los principales conceptos de sistemas y el proceso de reproducción y acumulación capitalista, en sus aspectos medulares.

Por una parte, en relación al trabajo humano como elemento activo, el medio ambiente que lo condiciona es el proceso de producción, que se encuentra dado en el capitalismo como la serie de factores históricos que lo condiciona como tal, es decir, como la producción de mercancías a través del uso de los medios de producción por el trabajo asalariado. Este medio ambiente es el conjunto de entradas a las que se enfrenta el trabajo y sobre el cual actúa - éste produciendo bienes valorizados como salidas que actúan a su vez en el medio ambiente al realizarse, al efectuarse su venta en el mercado, recuperando el valor de los medios de producción y - de la fuerza de trabajo empleada y una ganancia que permite reponer los medios de producción consumidos y ampliar el proceso -- productivo, reproduciéndolo en escala ampliada en su contenido -- (extracción de plusvalía y obtención de ganancia). Así pues, el - elemento activo trabajo se encuentra acoplado con los objetos ma - teriales sobre los cuales actúa y viceversa, lo que constituye una

condición necesaria para la producción. Para el proceso de reproducción ampliada, los acoplamientos por los cuales se obtiene la ganancia se dan en el mercado de productos.

La red de acoplamientos en el proceso de producción capitalista y en el proceso de reproducción ampliada constituyen el modo de acción del sistema económico capitalista, su movimiento. Esto se puede expresar a través de matrices de acoplamientos del proceso de producción, del proceso de reproducción ampliada, de factores superestructurales que condicionan a la estructura económica y son a su vez condicionadas por ella. Esto a su vez se puede -- representar por medio de matrices de acoplamiento de orden mayor tal como se entiende a éstas en el anexo I, parte A. Si además en estas matrices se toma en cuenta las transformaciones de las -- entradas y salidas del sistema a que dan lugar los acoplamientos, se tendrá una visión de la ley de movimiento del sistema considerado. En esta tesis no se efectúa, tal como se ha descrito, este -- proceso, pero baste señalar que es perfectamente posible teórica y prácticamente el realizarlo. A guisa de ejemplo se tienen en Economía las matrices de insumo-producto, que son en su esencia -- una red de acoplamientos y transformaciones que en un periodo -- dado guardan los sectores o ramas en que se divide la economía -- nacional; su utilidad consiste en mostrar un reflejo de las relaciones económicas y en función de éste, reacoplar a través de trans

formaciones específicas a los sectores y ramas económicas conforme a normas de comportamiento deseado para lograr cierto desarrollo previsto en la estructura económica. Otro ejemplo lo constituye el dado en el párrafo anterior respecto a los esquemas multisectoriales de reproducción que son en esencia redes de acoplamientos y transformaciones intersectoriales, teniendo como norma el equilibrio a nivel de reproducción ampliada.

En lo tocante a la regulación, al control y a los operadores de transformación (expuesto en forma teórica en el anexo I, parte B), un ejemplo concreto de su aplicación para la Economía - especialmente en lo que el párrafo anterior toca respecto a la inversión y su influencia en el aumento de la producción, se puede encontrar en la obra de O. Lange "Introducción a la Economía Cibernética".

En el punto anterior se han expuesto las condiciones de equilibrio para la reproducción simple y para la reproducción ampliada, tanto bisectorial como multisectorialmente, además de exponer la influencia de las inversiones en el aumento de la producción. Analicemos lo anterior en función de las nociones de estabilidad --- (Anexo I, parte C).

En primer lugar, para la reproducción simple la condición de equilibrio $c_2 = v_1 + m_1$ se puede interpretar de la siguiente ma

nera: se considera como sistema regulador el que la plusvalfa generada en el sector productor de bienes de producci3n y en el sector productor de bienes de consumo se emplee para el consumo: - como sistema regulado se considera la escala de producci3n de -- ambos sectores, y como potencia del regulador la condici3n de que $c_2 = v_1 + m_1$. Asf, para que se d3e el equilibrio, la potencia del - regulador tiene que ser de tal manera que en este caso anule las posibles perturbaciones que aparezcan en el sistema regulado y -- por tanto, debe ser igual a la potencia del sistema regulado es decir, a la escala de la producci3n de ambos sectores. Mientras - esta se mantenga constante o bien aunque aumente en forma pro--porcional, pero la plusvalfa total de los sectores se consuma, la - condici3n de equilibrio seguir3 siendo la misma y por lo tanto, el sistema como un todo ser3 estable.

Para el caso de la reproducci3n ampliada, la condici3n de --- equilibrio $c_2 + m_2c = v_1 + m_1v + m_1o$ guarda el mismo car3c-ter que en el p3rrafo anterior. Cuando haya en la economfa estabilizadores que acerquen al sistema regulado (los sectores I y II) a la norma $c_2 + m_2c = v_1 + m_1o + m_1o$, se dar3 en forma - aproximada el equilibrio, y digo aproximada porque el equilibrio a escala ampliada en una economfa capitalista es algo irreal tanto - por las perturbaciones surgidas del propio mercado, como por las imprevisiones que en el seno de cada sector se dan respecto a la

producción requerida.

Para el caso de la división multisectorial de la economía y el equilibrio dado por las ecuaciones de balance, vale la misma conclusión anterior. No obstante que el sistema capitalista crea sistemas de control para asegurar su estabilidad (lo que vá desde la centralización del capital, la utilización del aparato estatal para asegurarle en la serie de políticas de carácter económico que emplee las condiciones más propicias para su funcionamiento respecto a la norma, etc), las contradicciones que lleva en su seno se reflejan en el plano económico por el desequilibrio, por el ciclo económico influido no sólo a nivel de economía nacional, sino a nivel de economía mundial. Así, al ciclo económico que una economía nacional guarda, y que representa "per se" desequilibrios, se le suman los ciclos de otras economías extranacionales que ocasionan diversas influencias en el ciclo original nacional, incrementándole las perturbaciones y la serie de controles para atenuarlo, que van desde un proteccionismo a ultranza, hasta el gasto público en manutención de un ejército, etc.

Respecto al caso de las inversiones y su influencia en el aumento de la producción, referida al ciclo económico, sus oscilaciones y sus tendencias, se presenta un análisis similar al expuesto en el párrafo anterior en lo referente a la teoría de la esta-

bilidad de los sistemas (Anexo I - C). Este caso merece atención especial:

En el Anexo I - C, se plantea como solución de la ecuación de reacción de un sistema a la función $y(t) = e^{\lambda t}$ (se recuerda que la ecuación de reacción del sistema es una ecuación diferencial, o sea que contiene tanto procesos continuos como discretos de acoplamiento), que se puede expresar como la suma de dos funciones: $y(t) = \bar{y}(t) + \hat{y}(t)$, la primera de las cuales es la solución general de la correspondiente función homogénea, obtenida tomando en el segundo miembro $x(t) = 0$ (llamada ecuación reducida) y la otra es la solución arbitraria particular de la ecuación heterogénea. Este segundo componente se puede expresar como: $\hat{y}(t) = \frac{S}{I - SR} x(t)$, que depende de la función de entrada $x(t)$, es decir del transcurso en el tiempo de los estados de la entrada (alimentación) del sistema. Se le denomina a $x(t)$ componente de alimentación. En cambio, el primer componente $\bar{y}(t)$ es independiente de los estados de la entrada del sistema, de sus "características propias". Estas últimas se expresan por las raíces características λ_j . A este componente se le llama componente propio.

Las raíces características λ_j pueden ser reales o asociadas y aparecen siempre en parejas acopladas. Si las raíces son ---

reales, pueden ser posibles los tres casos siguientes: 1): Todas las raíces son reales y negativas; es decir, $\lambda_j < 0$ para todas las j . Entonces el componente propio de la solución $\bar{y}(t)$ tiende a cero cuando $t \rightarrow \infty$. Dicho componente desaparece con el tiempo; por lo tanto, en este caso se le llama componente de transición. Así pues, la solución general es $y(t) \rightarrow \hat{y}(t)$, o sea el componente de alimentación determinado por la fórmula fundamental de la regulación $(\frac{S}{1-SR})$. El sistema es entonces estable, se aproxima a un estado de equilibrio determinado. El estado de equilibrio varía en el tiempo cuando varía el valor de la alimentación $x(t)$. (se habla entonces de equilibrio móvil) y es invariable cuando la alimentación es un valor constante, es decir $x(t) = \text{constante}$ (se habla entonces de equilibrio estacionario). La convergencia al estado de equilibrio es monótona. Si se regula el sistema habrá un valor dado (la norma $z(t)$), que deberá ser cumplido por el estado de la salida del sistema. 2): Una o más de las raíces reales $\lambda_j > 0$; en tal caso el sistema es inestable. El estado de la salida $y(t)$ cada vez se aleja más del equilibrio determinado por el componente de alimentación. Las "características propias" del sistema cada vez perturban más el efecto causado por la alimentación $x(t)$; el sistema "se escapa" cada vez más de la influencia de la alimentación. En este caso el componente propio $\bar{y}(t)$ determina la tendencia del desarrollo

de la salida del sistema. Dicha tendencia no depende de la alimentación $x(t)$ y es el resultado de las "características propias" del sistema; expresa su ley interna del movimiento. 3): Todas las raíces $\lambda_j = 0$. Entonces el componente propio de la solución - posee un valor arbitrario y se tiene $y(t) = \text{valor arbitrario} + \hat{y}(t)$. Se dice entonces que el sistema está en el límite de la - estabilidad; se le puede dar una desviación arbitraria del estado - de equilibrio $\hat{y}(t)$. Esta desviación ni disminuirá ni aumentará. Se dice entonces que cada estado del sistema es el estado de equi-
librio.

¿Qué sucede cuando la ecuación característica tiene raíces - asociadas? Sea $\lambda_j = \alpha_j + j\phi_j$; entonces la función $e^{\lambda_j t}$ se puede expresar: $e^{\lambda_j t} = e^{\alpha_j t} e^{j\phi_j t}$. Utilizando la fórmula - de Euler $e^{i w} = \cos w + i \sin w$, se escribe:

$e^{\lambda_j t} = e^{\alpha_j t} (\cos \phi_j t + i \sin \phi_j t)$. De modo que en el caso de que la raíz característica esté asociada, el componente propio $\bar{y}(t)$ de la solución de la ecuación de reacción del sistema, - contiene un elemento periódico.

El transcurso en el tiempo del estado de salida $y(t)$ es entonces oscilatorio. El tipo de oscilación depende del signo de la - parte real de la raíz λ_j , es decir, el signo α_j que determina la amplitud de la oscilación está amortiguada y al cabo de cierto

tiempo desaparece. Si $\alpha_j = 0$ la oscilación es constante; es decir, que su amplitud es invariable. Si $\alpha_j > 0$, la amplitud de la oscilación crece indefinidamente.

Resumiendo: si las raíces características están compuestas por números asociados ($\lambda_j = \text{re}\lambda_j + i\text{im}\lambda_j$), donde $\text{re}\lambda_j$ significa la parte real e $\text{im}\lambda_j$ la parte compleja, entonces la parte real decide la estabilidad del sistema; a saber: el sistema es estable si $-\text{re}\lambda_j < 0$ para todos los λ_j ; está en el límite de la estabilidad si $\text{re}\lambda_j = 0$ para todos los λ_j ; es inestable si $-\text{re}\lambda_j > 0$ para uno o más λ_j . La parte imaginaria decide que el transcurso en el tiempo del estado de la salida del sistema sea monótono u oscilatorio. El transcurso es monótono si $\text{im}\lambda_j = 0$ para todos λ_j ; es oscilatorio si $\text{im}\lambda_j \neq 0$ para uno o más λ_j .

Sobre la estabilidad, monotonía u oscilación de un sistema, decide el componente propio de la ecuación de reacción del sistema. En cambio, el componente de alimentación determina el estado de equilibrio del sistema. Ambos componentes no son, sin embargo, independientes entre sí, puesto que hay cierta relación entre las raíces características λ_j que aparecen en el componente propio y los operadores S y R que aparecen en el componente de alimentación.

Relacionando los párrafos anteriores sobre la estabilidad con lo es
crito en el punto anterior como determinante de los ciclos, su am
plitud y sus oscilaciones resulta lo siguiente: si la rentabilidad -
es el regulador de la tasa de inversión y ésta determina la oscila
ción del ciclo económico, mientras que el componente v , o sea
la tasa de crecimiento del producto global determina la tendencia -
del ciclo y la amplitud del mismo viene representado por la tasa
de consumo k asociada al parámetro h , estas variables pueden
asociarse a lo expuesto párrafos arriba - Así, la tendencia v --
puede identificarse como el valor de la alimentación $x(t)$ o el -
sistema a regular conforme a la norma $z(t)$ y se aproxima al -
equilibrio. Dado que en el sistema capitalista la ganancia es -
la que regula a α_i , k y h , entonces el valor de v o la
tendencia aparece alejado de la norma $z(t)$, o sea el estado de
equilibrio $c_2 + m_{2c} = v_1 + m_{1v} + m_{10}$ para la reproducción -
ampliada, identificándose los valores de α_i , si son iguales,
mayores o menores a cero, con los valores del componente propio
de la ecuación de reacción del sistema que contienen los elemen-
tos periódicos, en este caso los valores α_j . Las oscilaciones
 $h_j k_{ij}$ que determinan la amplitud del ciclo, pueden identificar
se con la parte imaginaria de las raíces caracterfsticas λ_j . --
Por último la inestabilidad que se da en el sistema capitalista pro
ducto de las divergencias de la tendencia y el ciclo con la norma

del proceso de reproducción ampliada $c_2 + m_2c = v_1 + m_1v + m_1o$; se puede identificar con la parte real de las raíces características $\lambda_j = 0$ o $\lambda_j > 0$.

De la comparación hecha en el párrafo anterior queda demostrada la analogía existente entre la teoría de sistemas y los procesos económicos (en este caso la acumulación y reproducción de capital como proceso particular), lo cual es lógico ya que los elementos que contenga un proceso económico pueden ser representados bajo los supuestos de la teoría de sistemas en función de que a través de esta última puede unificarse o expresarse cualquier proceso real.

Toca el paso ahora al análisis de los procesos ergódicos referidos a la reproducción y acumulación capitalista.

La noción de ergodicidad, en el sentido de que cualquier perturbación al desarrollo del sistema desaparece con el tiempo y por tanto tiende éste hacia la estabilidad y al equilibrio o a un estado cercano al mismo, tendría su expresión económica en el caso de la reproducción simple, en la cual por hipótesis no se acumula con el fin de incrementar la planta productiva sino que sólo se repone bajo las condiciones de operación de la misma en la misma escala. En esta situación, el supuesto de consumo total del valor excedente generado, una vez satisfechas las necesidades de reposi

ción hacen que el sistema considerado se mantenga en equilibrio.

Lo anterior podría plantearse de la siguiente manera: si en un sistema ergódico la norma se expresa como \hat{X}_t o \hat{Y}_t , o sean las funciones de dirección del sistema tanto de entrada como de salida, y las perturbaciones como la diferencia entre un valor de entrada o salida del sistema respecto a la norma, o sea $\Delta X_t = X_t - \hat{X}_t$ y $\Delta Y_t = Y_t - \hat{Y}_t$, el proceso ergódico puede definirse como: $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta X_t = 0$ y $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta Y_t = 0$.

Para el caso de la reproducción simple, la norma de entrada \hat{X}_t viene dada por la tasa de producto excedente $s = m/v$, o tasa de plusvalía y la tasa de beneficio o ganancia real obtenida en la esfera de la circulación de mercancías $\frac{m}{K+V}$. Por hipótesis - se supone que toda la plusvalía extraída en el proceso de producción se realiza en la esfera de la circulación y acaso puede haber como perturbaciones, diferencias en cuanto al tiempo en el que se realiza bajo la forma dinero la plusvalía total. La reposición del capital constante K está determinada por el índice de reposición $\mu = 1/\tau$; igual cosa sucede con el capital variable V , - donde está determinado su periodo de rotación θ . Si se supone que la composición orgánica del capital $\frac{K}{V}$ es la relación en valor entre el capital constante K invertido en la producción y el

capital variable V , para un periodo de rotación igual del capital - constante y del capital variable, y tomando en cuenta que esto es - sumamente improbable en la realidad, entonces $\frac{K}{V} = \frac{c \tau}{v \theta} = k \frac{\tau}{\theta}$,

donde k es la composición orgánica de los insumos. De la misma manera, $p = \frac{m}{K+V}$ puede, tras desarrollarse con las nuevas -

expresiones para K y V , como: $p = \frac{s}{\left(\frac{K}{V}\right) \theta}$. Si además se to

ma en cuenta como salida del sistema \hat{Y}_t , que la clase capitalista como un todo, de la masa total de p emplea $(\tau + \theta)$ para fines de reposición del capital constante y para emplear trabajo - vivo en la puesta en marcha y operación de K y el resto $[p - (\tau + \theta)]$ para el consumo, entonces la condición de ergodicidad

para la reproducción simple es que $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta X_t = 0$ y $\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta Y_t = 0$,

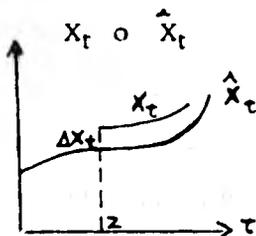
lo que significa que las perturbaciones de entrada y salida del sistema (las fluctuaciones de realización en el mercado de p y las fluctuaciones de reposición de K y V) tiendan en el tiempo a desaparecer, lo que, dada la hipótesis de plena realización y plena reposición, expresadas por \hat{X}_t y \hat{Y}_t , sucede. En este caso el proceso de reproducción simple es ergódico y autoconducido, ya que las oscilaciones que pudieran presentarse en torno a la norma, son resueltas por las propias características de las hipótesis del sistema. En esta situación además, el sistema estaría

muy cercano (por el desfase en el tiempo de las oscilaciones de realización y de reposición) a la condición de equilibrio del sistema $c_2 = v_1 + m_1$. Asimismo, las raíces λ_j , de la ecuación de reacción del sistema, serían iguales a cero y en consecuencia cada estado del sistema sería el de equilibrio; esto se puede expresar diciendo que la inversión bruta α_j , en cada sector o rama de la economía, sería constante, no produciéndose situaciones cíclicas, ya que los parámetros k y h , que determinan la amplitud del ciclo tendrían un valor muy cercano al de cero, y la tasa de crecimiento del producto global (v) que determina la tendencia, al ser la inversión bruta (α_j) constante y no habiendo inversión neta, sería constante también; es decir, tendría un valor muy cercano a cero.

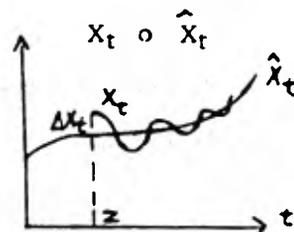
Por lo anterior conviene reflexionar en torno a la validez que los anteriores supuestos representan. Por una parte, la constancia que el proceso económico capitalista tiene es precisamente su inestabilidad. Aún al nivel de la reproducción simple, por las propias características del mercado y las contradicciones que lo particularizan, hacen que las oscilaciones en torno a la hipótesis de consumo total de la plusvalía generada y la ganancia obtenida una vez satisfechas las necesidades de reposición, se incrementarían, lo que daría al traste con la atenuación "per se" de las perturbaciones y con el logro de la condición de equilibrio. Claro está —

que el modelo de reproducción simple expuesto por Marx es un -- proceso simplificador en extremo de la realidad y puente para establecer la condición de equilibrio en el proceso de reproducción -- ampliada y para conocer más a fondo, en forma más concreta, el funcionamiento del sistema capitalista y las contradicciones que se plasman en su movimiento. Al llegar a este punto de su análisis, Marx ha efectuado el paso de lo abstracto a lo concreto, enriqueciendo el conocimiento de lo real por las determinaciones que motivan su movimiento como tal y no otro.

Se pasará ahora a plantear la cuestión del proceso de reproducción y acumulación y la antiérgodicidad, entendido este término -- como ya se ha mencionado en otros párrafos, por ser un proceso que se aleja acumulativamente de la función de dirección del -- sistema. Explicaré ésto de la siguiente manera: téngase una función de un proceso, denotada por \hat{X}_t , una perturbación denotada por ΔX_t , una función X_t que representa el desarrollo real -- del sistema en el tiempo y un momento $t=z$ en el cual se presenta una perturbación, tal como se representa en las figuras A y B.



(A)



(B)

La figura A representa una desaparición monotónica y la figura B una oscilatoria de una perturbación ΔX_t que ocurre en el momento $t=z$. La función X_t que representa el desarrollo del sistema en el tiempo es la solución a las ecuaciones sectoriales diferenciales o integrales (7) del anexo I-D. La función vectorial ΔX_t del tiempo, que constituye la solución de las ecuaciones (.7), es de la forma $\Delta X_t = \sum_j K_j(z) [\lambda_j(z)]^t$. (Ecuación (9) en el anexo I-D). Los coeficientes K_j dependen del parámetro z y por esta razón se escriben $K_j(z)$. La función ΔX_t tiende a cero si todos los $\lambda_j(z) < 1$; según que $\lambda_j(z)$ sea real o complejo, los componentes de la función ΔX_t , son monotónicas u oscilatorias. La anti-ergodicidad se expresa cuando las raíces $|\lambda_j(z)| > 1$; en este caso, cada perturbación causa que el estado del sistema se aleje acumulativamente de la función de dirección del sistema. La duración que reviste el que $|\lambda_j(z)| < 1$ o $|\lambda_j(z)| > 1$ se denomina duración de la ergodicidad o de la anti-ergodicidad. La magnitud de las perturbaciones, sean monotónica u oscilatoriamente decrecientes o crecientes, constituyen el dominio de la ergodicidad o de la anti-ergodicidad en su caso.

Puede hacerse aquí un símil entre la anti-ergodicidad y las condiciones que determinan las fluctuaciones cíclicas típicas de la reproducción capitalista. Si se identifica a ΔX_t o sea las pertur-

baciones con $h_j k_{ij}$, donde h_j es el ponderador que obra sobre la parte del producto global de un sector dado que es consumida - (k_{ij}); X_t , o sea, la función de desarrollo real del sistema en el tiempo, se identifica con la expresión real que revista el producto global de la economía; z es en el caso de la economía, el tiempo en el cual se observan las perturbaciones a la producción global; $\lambda_j(z)$ es en el caso de la economía, similar a la inversión bruta α_j , y \hat{X}_t , o sea la función de dirección del sistema, se puede expresar para la economía, como la tasa de crecimiento del producto global en caso de no haber perturbaciones, o sea la tasa de crecimiento de la producción global (v) cuando se da la condición de equilibrio para la reproducción ampliada. Como resultado de lo anterior es la inversión bruta α_j , la que determina en su signo, aunado el valor real o complejo del exponente v (tasa de crecimiento de la producción global) en la ecuación de balance $X_i(t) = \sum_{j=1}^n h_j k_{ij} e^{vt}$ de la producción global, el carácter monotónico o cíclico de la producción global a escala ampliada, adquiriendo valores monotónicos crecientes, o cíclicos explosivos, si $\alpha_j > 0$, y v toma valores complejos, siendo esto un alejamiento o una antiergodicidad respecto a la función dirección v cuando $c_2 + m_2c = v_1 + m_1v + m_1o$, que es la condición de equilibrio de la reproducción ampliada.

Ahora bien: ¿De qué dependen las perturbaciones en el proceso de reproducción ampliada? Del carácter caótico en que se efectúa la inversión como respuesta a expectativas de ganancia nó -- controlables por los capitalistas, dado el carácter espontáneo del - mercado, lo que a su vez determina desajustes en las necesidades reproductivas intersectoriales, ocasionando un círculo al que se enfrenta el capitalismo buscando nuevos mercados, derrochando re-- cursos en inversiones superfluas (armamentos, etc), sofisticando el consumo y las técnicas de producción, centralizándose como capital, y todo ello como medida atenuadora de las perturbaciones -- propias de las contradicciones que lleva en su seno, creando con ésto nuevas perturbaciones de carácter cualitativamente diferente, nuevas contradicciones y nuevas medidas de estabilización, pero -- sin romper nunca la espiral, sino ampliándola más y con ello su carácter antiergódico como sistema. -

c) Acumulación y Reproducción de Capital y Entropía.

La acumulación y reproducción de capital según se ha visto en el punto anterior puede representarse como un proceso antiergódico. Las contradicciones propias del capitalismo inducen a éste a una inestabilidad progresiva o dicho en otra forma a una estabili-- dad relativa. El carácter de la estabilidad en un sistema viene - determinado por los reguladores que se le adaptan, de tal modo --

que atenúen o compensen las perturbaciones en el sistema regulado de acuerdo a una norma. El proceso de regulación así descrito toma el nombre de proceso de control y al sistema regulador - adaptado al sistema regulado se le llama sistema de control. El proceso económico, visto o encuadrado como "sistema", posee su propio sistema de control; el proceso económico capitalista y de éste el proceso de producción poseen asimismo un sistema de control no surgido de manera espontánea, sino producido por el hombre y que vadesde la división del trabajo y las normas y condiciones técnicas en que se debe producir para obtener un bien, realizarlo y continuar el proceso productivo, hasta contar con la fuerza de trabajo necesaria en condiciones específicas, contar con un sistema de distribución lo más "racional" posible, una legislación -- acorde al proceso de intercambio sea de productos o de hombres, etc, etc.

Sin embargo, a un nivel agregado el sistema de control del -- capitalismo falla no obstante los mecanismos que se introduzcan; - el sistema se desestabiliza continua y periodicamente (en sus partes y como todo). La razón de esto se encuentra en el génesis -- del capital: surge de desigualdades y en ellas se desarrolla como relaciones sociales de producción actuantes en unas fuerzas productivas conformando un modo de producción específico: el capitalista.

En un medio inestable históricamente se desarrolla el proceso de acumulación y reproducción: la reproducción ampliada capitalista. En ésta se conjugan las contradicciones de todo el sistema y es ella la que la mueve, la que determina su dirección y por tanto las medidas de control a emplear por la sociedad (más bien dicho la parte de la sociedad que detenta el poder de acumular expresa las condiciones de ajuste que la sociedad entera debe guardar - para que se reproduzca, para que se perpetúe la capacidad de acumular en forma capitalista). -

El desequilibrio, pues, es la condición de la cual ha surgido el modo de producción capitalista y en la cual se desenvuelve; ha sido este modo de producción la perturbación que generó la "muerte" de modos de producción anteriores que no pudieron controlar esa perturbación y se modificaron cualitativa y cuantitativamente. No fue el cambio en la forma de propiedad de los medios de producción solamente lo que ocasionó el derrumbe de modos de producción anteriores; fue anexo a esto, la utilización que se le dio a esos medios de producción: producir para el mercado en una escala más amplia; generar mercados y generar trabajo asalariado. Pero el mercado ha sido el factor donde el capital se enfrenta a otros capitales que compiten contra él para realizar productos, para enajenarlos y en esta guerra competitiva unos pierden y otros acumulan. De ahí la importancia que en el decurso del capita-

lismo ha tenido el luchar por el control del mercado y por su ampliación. Esto históricamente se ha plasmado en la concentración y centralización del capital, tanto para no depender los capitalistas como compradores de otros capitalistas y aprovechar la opción de producir lo que compran de otros y extraer plusvalía, como para controlar la venta de sus productos y asegurar la ganancia, lo que implica controlar el mercado y ampliarlo ya no sólo en el plano interno sino en el internacional. -

Es la lucha por los mercados y su control, y de éstos los de mayores expectativas de ganancia, lo que ocasiona bajo la forma capitalista los traslapes, los desajustes, los desequilibrios de producción y por ende de reproducción ampliada.

Estos desequilibrios en la reproducción ampliada en los sectores productivos en que se encuentre dividida la economía es lo que se puede vincular con la noción de entropía, a la que se le llama "degradación de la energía" y que bajo su contenido ampliado que se ha introducido en los capítulos anteriores significa la "degradación de un sistema o proceso en desequilibrio hacia procesos o sistemas nuevos, revestidos de cualidad y cantidad diferente". A este respecto el término "degradación" significa ruptura, cambio, - disminución del movimiento que bajo determinados desequilibrios - un sistema presenta a consecuencia de nuevos desequilibrios. En este sentido un proceso real con determinados desequilibrios a los

que afronta por medio de la regulación, "muere" ante nuevas - perturbaciones y por ende desequilibrios a los cuales su sistema - regulador no puede controlar. Así, el sistema que está "equilibrado" en función de sus reguladores está "muerto" ante nuevos desequilibrios a los cuales no se puede adaptar regulándolos, siendo la resultante un sistema nuevo. Este es el sentido que guarda la entropía para los efectos de esta tesis.

Así, la entropía como reflejo del desequilibrio habido en los procesos reales, aunada a la situación de medida del grado de - cambio de una forma de energía a otra a consecuencia de perturbaciones del medio ambiente (según se puede apreciar en los procesos físicos, químicos y biológicos), expresa también la probabilidad que tiene un proceso de conservarse en un estado de cuasi-equilibrio. Es bajo esta concepción como se puede aplicar la noción de entropía a cualquier proceso o sistema real. En los párrafos siguientes se vinculará la noción de entropía así concebida a la reproducción ampliada de capital, que lleva intrínseca la acumulación capitalista.

"Si la condición de equilibrio para la reproducción ampliada, en el caso de que la economía nacional se encuentre dividida en - tres sectores (el productor de bienes de producción, el productor de bienes de consumo para los capitalistas y el productor de bienes de consumo para los obreros) es:

$c_2 + c_3 + m_{2c} + m_{3c} = v_1 + m_{1v} + m_{1o}$, que es la forma reducida de la expresión $c_1 + v_1 + m_{1c} + m_{1v} + m_{1o} = c_1 + c_2 + c_3 + m_{1c} + m_{2c} + m_{3c}$, o sea que la producción de medios de producción debe seguir siendo equivalente a las necesidades tanto para la renovación de los medios de producción consumidos como para el incremento de sus stocks, y de acuerdo a la fórmula reducida, para mantener el equilibrio, el suplemento de producción de medios de producción no retenido en el sector I, tiene que ser igual a la suma de los flujos de producción del sector I en relación con los sectores II y III. Aparte de la condición de equilibrio $c_2 + c_3 + m_{2c} + m_{3c} = v_1 + m_{1v} + m_{1o}$, se tienen otras dos ecuaciones análogas:

$$c_2 + v_2 + m_{2c} + m_{2v} + m_{2o} = v_1 + v_2 + v_3 + m_{1v} + m_{2v} + m_{3v}$$

y, tras su reducción queda: $c_2 + m_{2c} + m_{2o} = v_1 + v_3 + m_{1v} + m_{3v}$

o bien: $c_3 + v_3 + m_{3c} + m_{3v} + m_{3o} = m_{1o} + m_{2o} + m_{3o}$, que en --

forma reducida queda: $c_3 + v_3 + m_{3c} + m_{3v} = m_{1o} + m_{2o}$.

"La primera de estas dos ecuaciones suplementarias de equilibrio dimana del supuesto de que la producción del sector II, es decir, la producción de medios de consumo destinados a los obreros, es igual a la suma de los fondos salariales de la totalidad de los tres sectores, es decir, $v_1 + v_2 + v_3$, mas todo lo que se destina al incremento de ese fondo salarial, o sea $m_{1v} + m_{2v} + m_{3v}$

"La última ecuación dimana del mismo presupuesto relativo a la igualdad de la producción de medios de consumo destinados a los capitalistas y la parte de la plusvalía o valor excedente destinada al consumo.

"Las tres condiciones que se han citado no son independientes. Si se dan dos de ellas también la tercera debe cumplirse. Sobre la base de esta consideración se puede prever cómo han de presentarse las condiciones de equilibrio para el caso de un número mayor de sectores. Si la economía nacional se halla dividida en n sectores, se tendrán entonces $n-1$ condiciones de equilibrio independientes, con lo cual cada una de esas condiciones traduce el hecho de que el suplemento o exceso de producción de un sector determinado (y por lo tanto lo que en dicho sector no queda retenido) es igual a la suma de demandas de productos de aquel sector por parte de los sectores restantes" (O. Lange "Teoría de la Reproducción y de la Acumulación" . pp. 61-64)

Para el caso de los esquemas multisectoriales, la reproducción ampliada tiene como expresión de equilibrio, según se ha visto en el punto a) de este párrafo, la condición:

$$\sum_{j \neq i}^n x_{ji} + x_{oi} + m_i = \sum_{j \neq i}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n l_{ij} + x_i^{(o)}$$

(i = 1, 2, ..., n)

o sea la ecuación (3.b) ; introduciendo los coeficientes técnicos -

$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) y los coeficientes k_i y ξ_i , o sean

las partes del producto final x_i que se destinan al consumo y a la inversión en el propio sector o en los restantes en que se divide a la economía y tomando en consideración que el coeficiente k_i se puede expresar como la relación $\frac{x_i(0)}{x_i}$ y el coeficiente ξ_i

como la relación $\frac{x_i - x_i(0)}{x_i}$ que indica la fracción que del pro

ducto final de un sector se halla consumida en la reproducción y la inversión en ese mismo sector o en otros sectores diferentes, entonces la ecuación (3.b) toma la forma:

$$\sum_{j \neq i}^n x_{ji} + x_{oi} + m_i = \sum_{j \neq i}^n a_{ij} X_j + \sum_{j=1}^n \xi_{ij} + x_i(0) \quad , \text{ que en función}$$

del tiempo (t) se puede expresar como sigue:

$$\sum_{j \neq i}^n x_{ji}(t) + x_{oi}(t) + m_i(t) = \sum_{j \neq i}^n a_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n \xi_{ij}(t) + x_i(0)(t) \quad .$$

De esta última expresión de equilibrio se pueden inferir las siguientes suposiciones: si los coeficientes técnicos representan qué cantidad del producto de un sector dado i es indispensable para la producción de las unidades (físicas o de valor) del sector dado j , y si los coeficientes de inversión y de consumo representan a

su vez las cantidades invertidas o que se consumen en el mismo sector o en otros de la economía, entonces, como lo muestran las tablas de insumo-producto ampliadas, hay una serie de relaciones o acoplamientos intra e intersectoriales. Estas relaciones pueden expresarse en matrices de acoplamientos intersectoriales. A este hecho se ha abocado el propio Lange en su obra de Economía Cibernética.

Dado que las matrices de insumo-producto juegan en la Economía el papel de sistemas de regulación entre la demanda y oferta global, como tales su función es atenuar desequilibrios entre los flujos intra e intersectoriales y dirigir el proceso económico hacia una norma o función de dirección que es dada por el plan económico tanto para las economías socialistas como para los de tipo capitalista. Ahora bien: la precisión y eficiencia del plan es superior en las economías socialistas ya que las cuotas de inversión bruta están asignadas por el mismo, en tanto que para las economías de tipo capitalista el plan se encuentra desfasado de la norma por las oscilaciones de la rentabilidad en los diferentes sectores de la producción, la cual decide la magnitud de las inversiones.

La entropía tiene su máximo, como se ha visto al hablar de ella en termodinámica, con el teórico ciclo reversible de Carnot en función de que en éste el rendimiento térmico es mayor que en

cualquier ciclo irreversible. El ciclo reversible sería la norma, y de hecho lo es en la técnica, en donde los procesos que llevan intrínsecos cambios energéticos tratan de adecuarse lo más posible a los ciclos reversibles. Para lo social, y de éste lo económico, la reversibilidad o el equilibrio, constituye el marco al cual se trata de ajustar el sistema. Es un hecho como también se ha visto el que cualquier proceso real es en sí irreversible; esto lo corroboran tanto las ciencias naturales como las ciencias sociales en donde el carácter universal del movimiento (en su ubicación natural o social) está impregnado del "salto" dialéctico del cambio cuantitativo a cambio cualitativo y viceversa, bajo ciertos límites que podrían equipararse al dominio de ergodicidad de un sistema. El cambio, el "salto", vendría dado por la ruptura en el dominio de ergodicidad, por el paso de lo ergódico a lo anti-ergódico y a consecuencia de éste la formación de sistemas nuevos con normas nuevas o con nuevos parámetros en el dominio de ergodicidad del sistema así formado.

Para el caso de la Economía, se ha esbozado en el punto b) el carácter anti-ergódico o de alejamiento de la función de dirección del sistema en el proceso de reproducción ampliada de capital. Esto puede expresarse entrópicamente diciendo que el proceso de reproducción ampliada, al ser un proceso real, necesariamente es irreversible y por tanto en desequilibrio. El grado de desequilibrio lo mide la probabilidad que tiene una red de acoplamientos de realizarse en el tiempo en forma cuasiestable o ergódicamente;

en tanto sea menor esa probabilidad el proceso será antiérgico y su entropía mayor.

Por tanto, la probabilidad de que en una matriz de insumo-producto se dé conforme a una norma un flujo intersectorial, mide el grado de desequilibrio (el grado de entropía) entre los sectores involucrados. La reproducción ampliada capitalista, al tener elementos desequilibradores dados como consecuencia de factores ya explicados líneas arriba, posee por tanto una entropía elevada. -

Estos desequilibrios, que se manifiestan en el ciclo económico, dan por resultado cambios cualitativos en el desenvolvimiento del propio sistema capitalista. Reafirmando lo anterior, conviene citar a Marx: "en las ramas más importantes de la gran industria, el ciclo coyuntural dura actualmente un promedio de 10 años. No se trata, sin embargo, de una cifra exacta. De ello resulta en todo caso una cosa, y es que esos ciclos de rotación de unos cuantos años ligados entre sí, ciclos en los cuales el capital se halla inmovilizado en su parte orgánica constante, crean la base material para el surgimiento de las crisis periódicas; en dichos períodos la vida económica atraviesa consecutivamente por unas fases de depresión, de relativa reanimación, de desmedido impulso y de crisis. Aun cuando los períodos de inversión de capital son muy diferentes y no se corresponden ni mucho menos entre sí, no es menos cierto que la crisis representa siempre el -

punto de partida para las nuevas grandes inversiones. Por consiguiente, si analizamos el problema a escala social, la crisis crea en un grado mayor o menor una nueva base material para el futuro ciclo de rotaciones" (El Capital, Tomo II.)

De hecho, los sistemas de regulación y los tipos de control para ajuste de oscilaciones respecto a una norma, en este caso las matrices de insumo-producto, son formas de aminorar la entropía del sistema de que se trate. El medir el grado de desajuste que en un tiempo determinado tuvo un proceso (micro o macroeconómico) y buscar el tipo de control más adecuado ex-post considerando que con ese control (compuesto de elementos acoplados en serie y en paralelo) disminuirán las probabilidades de fallar en el sistema, es en sí una medición ex-ante de la entropía a la que se va a enfrentar por su "construcción" el sistema.

Para ilustrar lo anterior en una matriz de insumo-producto ampliada, si se analiza la serie de acoplamientos que una rama económica tiene con el resto de las que integran la matriz, se puede ponderar el "peso específico" que cada una de estas últimas ramas tiene tanto en la demanda como en la oferta y la inversión de la primera; si se expresa en probabilidades la serie de relaciones necesarias para el cumplimiento productivo de la rama en cuestión, se tendrá la medida de la entropía de esa rama económica, su grado de desequilibrio en función de su dependencia respecto a

otras ramas y las perturbaciones que respecto a su movimiento - esperado puedan afectarla. Así, teóricamente es posible construir una matriz de entropía alternativa a la matriz de insumo-producto a partir de las matrices de acoplamientos intra e intersectoriales. Su función práctica sería la de proveer mejores sistemas de control de acuerdo con la norma que se estableciera dentro de los parámetros de ergodicidad del sistema económico.

Para la economía capitalista, dados los desequilibrios estructurales es de prever que, amén de haberse considerado antiérgica, la entropía de la reproducción ampliada sea elevada, lo que se manifiesta en el carácter cíclico en el cual se desenvuelve, especialmente por las condiciones en que se efectúa la inversión. No obstante que la técnica, la administración y la serie de políticas de carácter económico provistas por el Estado se conjugan con factores superestructurales para estabilizar al sistema capitalista, la contradicción principal de la diferencia en el desarrollo de las -- fuerzas productivas y las relaciones sociales de producción es cada vez más manifiesta.

Queda para cerrar este párrafo el hacer un esbozo de lo que podría ser la construcción de un modelo que a nivel de matriz de insumo-producto y de reproducción ampliada representara la medición de la entropía tal como se ha considerado. El punto a continuación se enfocará a este respecto.

d) Matriz de insumo-producto, reproducción ampliada y medida de la entropía; esbozo de construcción de un modelo. -

1) La base de la acumulación y de las inversiones radica en el porcentaje no consumido del producto final. Si se designa con x_i el producto final de un sector dado i ; con $x_i^{(0)}$ la parte consumida, y con I_i la parte invertida del producto final de un sector dado i , se obtiene la siguiente ecuación para cada uno de los sectores de producción:

$$x_i = x_i^{(0)} + I_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

La parte I_i puede invertirse en cada sector de producción, con lo cual:

$$I_i = I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{in} = \sum_{j=1}^n I_{ij}$$

Elaborando una tabla de insumo-producto de balance ampliada (tal como lo hace Lange en "Teoría de la ...", p.85) tomando en consideración tanto los flujos de reproducción como los flujos de inversión:

x_{11}	x_{12}	\dots	x_{1n}	I_{11}	I_{12}	\dots	I_{1n}	$x_1^{(0)}$	X_1
x_{21}	x_{22}	\dots	x_{2n}	I_{21}	I_{22}	\dots	I_{2n}	$x_2^{(0)}$	X_2
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots		\vdots	\vdots	\vdots
x_{n1}	x_{n2}	\dots	x_{nn}	I_{n1}	I_{n2}	\dots	I_{nn}	$x_n^{(0)}$	X_n
Matriz de flujos reproductivos				Matriz de flujos de inversión					

La ecuación de balance sobre la base de esta tabla se expresa - como:

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n I_{ij} + x_i^{(0)} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

que se puede expresar como: $X_i = \sum_{j=1}^n (x_{ij} + I_{ij}) + x_i^{(0)}$

2) Expresando la matriz de flujos reproductivos en función de los coeficientes técnicos a_{ij} , y la matriz de flujos de inversión en función de los coeficientes de inversión b_{ij} que determinan la velocidad de incremento del producto global del sector j en un momento dado, es decir $I_{ij} = b_{ij} \frac{dX_j}{dt}$, la tabla de insumo-producto de balance ampliada se puede expresar como sigue:

$a_{11} X_1$	$a_{12} X_2$	...	$a_{1m} X_m$	$b_{11} \frac{dX_1}{dt}$	$b_{12} \frac{dX_2}{dt}$	...	$b_{1m} \frac{dX_m}{dt}$	$x_1^{(0)}$	X_1
$a_{21} X_1$	$a_{22} X_2$	...	$a_{2m} X_m$	$b_{21} \frac{dX_1}{dt}$	$b_{22} \frac{dX_2}{dt}$	...	$b_{2m} \frac{dX_m}{dt}$	$x_2^{(0)}$	X_2
...
$a_{m1} X_1$	$a_{m2} X_2$	...	$a_{mm} X_m$	$b_{m1} \frac{dX_1}{dt}$	$b_{m2} \frac{dX_2}{dt}$	...	$b_{mm} \frac{dX_m}{dt}$	$x_m^{(0)}$	X_m

de donde, la ecuación de balance toma la forma:

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n b_{ij} \frac{dX_j(t)}{dt} + x_i^{(0)}(t) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

3) Si se toma en cuenta que las ecuaciones de los gastos de producción asumen la forma $X_i = x_{oi} + \sum_{j=1}^n x_{ji} + m_i$ ($i=1, 2, \dots, n$), donde $\sum_{j=1}^n x_{ji} = c_i$; $x_{oi} = v_i$, o sea el capital constante, el capital variable y m_i la plusvalía de un sector de terminado i , y se introduce en esta ecuación los coeficientes de empleo a_{oi} y los coeficientes de producción a_{ij} , se le puede representar como:

$$X_i = a_{oi} X_i + \sum_{j=1}^n a_{ji} X_j + m_i \quad \text{y por tanto } m_i \text{ se puede expresar como: } m_i = X_i (1 - a_{oi} - \sum_{j=1}^n a_{ji}).$$

La tasa de inversión bruta α_i es igual a $\frac{X_i(t) - x_i(0)}{X_i(t)}$, y la tasa de inversión neta (tomando el índice de reposición para el capital constante $\mu = \frac{1}{\tau}$, donde τ es igual al periodo de rotación del capital constante, y el periodo de rotación para el capital variable θ , o sea que de la ecuación de gastos de producción arriba expresada $x_{oi} = v \theta$; $\sum_{j=1}^n x_{ji} = c \mu$) se puede indicar como $\alpha_i X_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j$, o sea la inversión bruta de un sector determinado i , menos la suma de los coefi-

cientes técnicos de producción (concretamente de reproducción) necesarios para la producción de una unidad adicional del producto global en el sector determinado j .

Por tanto, como de la plusvalfa generada en el proceso de producción de un sector determinado i se obtiene la parte necesaria para reponer o reproducir en la misma escala el producto global de ese sector, la parte destinada a incrementar la escala de producción del mismo (o sea la inversión neta), y la proporción destinada al consumo de los capitalistas en ese sector (m_{i0}), resulta que m_i , la plusvalfa total generada en el sector i se puede representar

$$\text{como: } m_i = [\alpha_i - (c\mu - v\theta)] + [\alpha_i - (\alpha_i X_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} X_j)] + m_{i0}$$

o sea la suma de la parte de la inversión bruta destinada a reposición, más la parte de la inversión bruta destinada a ampliar la escala de producción (inversión neta), más la parte consumida de la plusvalfa total por los capitalistas.

Así, la ecuación de los gastos de producción asumen la forma:

$$X_i = \left\{ \left[[\alpha_i - v\theta] + [\alpha_i - (\alpha_i X_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} X_j)] \right] + \left[[\alpha_i - c\mu] + [\alpha_i - (\alpha_i X_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} X_j)] \right] \right\} + m_{i0}$$

Si la expresión de inversión neta $[\alpha_i - (\alpha_i X_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} X_j)]$

se le representa por σ , entonces las ecuaciones de los gastos de

producción toman la forma:

$$X_i = [(\alpha_i - v\beta) + \sigma_i] + [(\alpha_i - c\mu) + \sigma_i] + m_i \theta \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

4) Si K_i designa la cantidad de productos de un sector dado que entra en el stock de capital constante de la economía nacional (o sea el capital constante existente en un momento dado en la economía nacional), y si la inversión neta σ es proporcional a la tasa de beneficio (o ganancia) obtenida por el capital constante producido en ese sector, es decir $\frac{m_i}{K_i}$, por lo tanto $\sigma_i = \gamma_i \cdot$

$\frac{m_i}{K_i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), donde γ_i es el coeficiente de proporcionalidad.

Si se supone por otra parte, que la inversión neta (σ) es función lineal de m_i y K_i , entonces $\sigma_i = \gamma_i m_i - g_i K_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) donde $\gamma_i > 0$; $g_i > 0$ representan los respectivos coeficientes de proporcionalidad.

Al coeficiente de proporcionalidad γ_i se le puede denominar coeficiente de propensión a la inversión ante la expectativa de beneficio, y al coeficiente g_i como coeficiente de sensibilidad de la inversión ante el capital constante.

De lo anterior se puede deducir que la inversión aumenta cuando el beneficio m_i se eleva, y que la inversión decrece cuando

aumenta el stock de capital constante K_i compuesto por los productos de un determinado sector.

Si se introduce la hipótesis suplementaria de que la magnitud de las inversiones en el tiempo t depende de la rentabilidad de los respectivos sectores de la economía en el tiempo $t - l$, es decir en un momento anterior al periodo l , que se puede denominar periodo de realización de la inversión: que $K_{ij} = b_{ij} X_j$, donde b_{ij} son los respectivos coeficientes de inversión, y que $m_i = \pi_i K_i$, donde π_i significa el beneficio unitario en el sector dado i , entonces la inversión neta (σ) asume la forma:

$$\sigma_i = \delta_i \pi_i X_i (t-l) - g_i \sum_{j=1}^m b_{ij} X_j (t-l) \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

5) Utilizando la última expresión para la inversión neta, y conforme a las ecuaciones de los gastos de producción, es posible representar en función de estas condiciones una tabla de insumo-producto de balance ampliada, que cobraría la siguiente forma:

$X_{11} [\alpha_{11} - (vB)_{11} - (cM)_{11}] X_{12} [\alpha_{12} - (vB)_{12} - (cM)_{12}] \dots X_{1m} [\alpha_{1m} - (vB)_{1m} - (cM)_{1m}]$	$X_{11} \sigma_{11} X_{12} \sigma_{12} \dots X_{1m} \sigma_{1m}$	m_{10}	X_1
$X_{21} [\alpha_{21} - (vB)_{21} - (cM)_{21}] X_{22} [\alpha_{22} - (vB)_{22} - (cM)_{22}] \dots X_{2m} [\alpha_{2m} - (vB)_{2m} - (cM)_{2m}]$	$X_{21} \sigma_{21} X_{22} \sigma_{22} \dots X_{2m} \sigma_{2m}$	m_{20}	X_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$X_{m1} [\alpha_{m1} - (vB)_{m1} - (cM)_{m1}] X_{m2} [\alpha_{m2} - (vB)_{m2} - (cM)_{m2}] \dots X_{mm} [\alpha_{mm} - (vB)_{mm} - (cM)_{mm}]$	$X_{m1} \sigma_{m1} X_{m2} \sigma_{m2} \dots X_{mm} \sigma_{mm}$	m_{m0}	X_m
<p>Matriz de los flujos reproductivos del capital constante y el capital variable en función de la inversión bruta</p>	<p>Matriz de los flujos de inversión neta o de reproducción ampliada</p>		

Conviene señalar que la inversión neta (σ) en la matriz de inversión neta, contiene tanto los flujos reproductivos a nivel ampliado del capital constante (c) y del capital variable (v), como a los coeficientes de proporcionalidad (γ_i) de la relación beneficio-stock de capital, o sean los coeficientes de propensión a la inversión; los coeficientes g_i de sensibilidad de la inversión ante el capital constante; el beneficio unitario π_i ; los coeficientes de inversión b_{ij} en la relación stock-de capital constante-producto global de un sector dado i (que son en esencia los coeficientes técnicos a_{ij} cuando el período de rotación es un año; en caso contrario $b_{ij} = a_{ij} T_{ij}$, donde T_{ij} es el período de rotación) y el período de realización de la inversión ($t-l$).

Las ecuaciones de balance para la tabla de balance ampliada así planteada, tomaría la forma:

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n [\alpha_{ij} - (vB)_{ij} - (cM)_{ij}] X_j(t) + \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} X_j(t) + m_{i0}(t) \text{ que debe cumplir a su vez para la estabilidad del sistema}$$

económico capitalista dividido en n sectores de producción, la condición de equilibrio de que el capital constante existente y la plusvalía empleada en ampliar el capital constante de $n-l$ sectores productores de bienes de consumo, debe ser -- igual al capital variable existente y a la plusvalía empleada en ampliar el capital variable de m sectores productores de bienes de producción y el consumo de los capitalistas de los n sectores, o sea $(l+m)$.

6) En teoría de sistemas, un elemento de un sistema puede fallar al no efectuar, por ejemplo, la transformación que normalmente debe realizar. La falla puede consistir en que realice una transformación nula en vez de la prevista, o sea, que el estado de salida adquiera el valor cero, independientemente del valor del estado de la entrada: o bien que con el valor dado del estado de la entrada, el estado de la salida difiera del valor previsto -- más allá de la tolerancia permisible. Suponiendo que cada elemento del sistema tiene la probabilidad de fallar durante un tiempo determinado, se le llama a esa probabilidad de fallar (que se señala por q), falibilidad del elemento. En ese caso, $p=1-q$ es la probabilidad de que durante un tiempo dado no fallará, o sea, su infalibilidad. Cabe agregar que el tiempo de falibilidad depende de las perturbaciones a que estén sujetos el elemento o los elementos del sistema que harán, bien que al través de determinadas transformaciones adicionales o arreglos en la conformación de los elementos del mismo, estos retornen a las condiciones de funcionamiento del sistema, o bien lo alejen, si las perturbaciones son superiores a los reguladores, de su función de dirección de desarrollo, con lo cual el sistema deja de funcionar y como tal "perece" - o bien se transforma en uno nuevo con un sistema de regulación que afronte los nuevos parámetros de las perturbaciones. -

Por lo tanto, la infalibilidad de un sistema compuesto por ele

mentos acoplados en serie es el producto de la infalibilidad de sus elementos, o sea $P = p_1 p_2 \dots p_n$ y disminuye en progresión geométrica al aumentar el número de elementos acoplados en serie. Si se introduce como regulador del sistema un número adecuado de elementos de reserva, acoplados en paralelo, se puede obtener una infalibilidad arbitrariamente alta. A esto último se le denomina "principio de construcción de sistemas relativamente infalibles a partir de elementos fallibles".

"Con especial claridad aparece el "principio de construcción" aludido al analizar los procesos económicos y su regulación. El proceso de producción que pasa por diversos estadios, desde la materia prima o el semiproducto en diferente grado de terminación, hasta el producto final, que se realiza en diferentes plantas de producción, es un ejemplo típico de un sistema compuesto por elementos acoplados en serie. Determinadas plantas o sus partes son los elementos y el acoplamiento es la colaboración entre las plantas y los departamentos de las mismas que se transmiten entre sí los productos correspondientes a diferentes etapas de la producción.

" Si la "cadena de reguladores" es larga, su infalibilidad conjunta P es pequeña y, por tanto, el valor medio de su acción (estado de salida) es pequeño; se dice entonces que el sistema de regulación "fun

ciona debilmente"; en determinados casos falla con frecuencia y - en el periodo t da un resultado medio, pequeño. Para contrarrestarlo hay que conectar al sistema los reguladores alternativos de reserva acoplados en paralelo.

"En casos analizados, es decir, en el proceso productivo con - la colaboración entre plantas y en la regulación del proceso económico por medio de la cadena de acciones intermedias, se puede - lograr una alta infalibilidad por medio de las reservas adecuadas. Pero las reservas cuestan, significan la sustracción de parte de - los medios a su participación directa en la producción, su "congelación". Esto es bien visible en el caso de la producción. En el caso de la cadena de acciones intermedias, por regla general los reguladores de reserva tienen el carácter de medios materiales de reserva para poner en marcha los estímulos económicos suplementarios (por ejemplo, cuando aumenta el precio de una materia prima, se establecen premios por ahorro de esa materia prima; -- cuando la disminución de la demanda de un producto lleva aparejada la disminución de su producción, se repone a la fábrica las -- pérdidas eventuales causadas por la disminución de la producción), para facilitar un determinado tipo de actividad (por ejemplo, el - suministro del pasto para la crfa de ganado, etc.) Se encuentran también relacionados con ciertos gastos en la economía nacional. Se necesita un cálculo económico que compare el costo de las rese

servas suplementarias con el costo de averías del sistema; por ejemplo, con la pérdida que se produce en la economía nacional por perturbaciones en la realización del proceso productivo o por no alcanzar la meta económica que debía ser realizada por la cadena de acciones. - Por medio del cálculo arriba descrito y de otros semejantes, se puede determinar la infalibilidad óptima -bien sea del proceso de la producción, bien sea de la cadena de acciones- y las reservas necesarias para obtener esta infalibilidad.

"En el campo de la regulación de los procesos económicos, la tendencia a "reducir las cadenas" se manifiesta por lo general de dos formas. Una es la sustitución de los medios económicos de acción (que consisten en aplicar estímulos y crear situaciones favorables para la manifestación de determinadas iniciativas) por medios administrativos del tipo de órdenes, recomendaciones, restricciones, reglamentación de los suministros, reglamentación de los surtidos de producción, etc. El propósito de todo esto es sustituir la cadena falible de acción intermedia por medios más directos y pretendidamente más seguros. Otra forma es aumentar la centralización de las decisiones, transmitiendo la capacidad de decisión de los escalones más bajos a los más altos en la organización de los procesos económicos. Igualmente se trata aquí de alcanzar un funcionamiento más directo y seguro."⁽⁷⁾

(7) Tomado de O. Lange: "Introducción a la Economía Cibernética". Capítulo V.

7) Por lo expuesto en los incisos anteriores es posible conforme al objetivo de este punto d) efectuar las siguientes transformaciones:

De la tabla de insumo-producto de balance ampliada dada en el inciso 5), se pueden obtener los factores que inciden como perturbaciones a la condición de equilibrio para el sistema económico como un todo. Estos serían:

- a) Los coeficientes técnicos (a_{ij}) significan la cantidad de producto de un sector dado i indispensable para la producción de las unidades (físicas o de valor) del sector dado j . Estos coeficientes técnicos dependen en la economía capitalista tanto de la tecnología existente en un momento dado (el nivel de utilización o relación de los medios de producción y la fuerza de trabajo para la producción de una unidad de producto), que denominaré como T_e , como de las condiciones de mercado por las cuales es posible obtener los medios de producción y la fuerza de trabajo, dependiendo los primeros de la rentabilidad esperada por la producción de un medio de producción y la segunda de la disponibilidad necesaria bajo las condiciones técnicas específicas para la producción; tales condiciones las denominaré C_m .
- b) Los coeficientes de propensión a la inversión (γ_i) que de-

penden de la expectativa de beneficio.

- c) Los coeficientes de sensibilidad de la inversión ante el capital constante (g_i), cuyo incremento provoca la caída de la tasa de beneficio y el descenso de la inversión y viceversa.
- d) Los coeficientes de beneficio unitario $\pi_i = \frac{m_i}{X_i}$
- e) Los periodos de realización de la inversión ($t-l$), o sea, la magnitud de las inversiones en el tiempo t , respecto al beneficio de los respectivos sectores en el tiempo $t-l$.

Por tanto, la inversión neta en un momento dado t , se puede expresar como: $\sigma_t = F(T_t, C_m, X_i, g_i, \pi_i, t-l)$

Ahora bien: la condición que en la economía capitalista es necesaria para que se de un monto determinado de inversión bruta (α_i) y de inversión neta (σ_i) para cubrir las necesidades de reproducción y de ampliación del proceso productivo, dependen en última instancia de la tasa de ganancia esperada (beneficio esperado o rentabilidad esperada) $p = \frac{m}{K+V}$ en un periodo de tiempo determinado t , conforme a la ubicación que el proceso de producción guarde en el ciclo económico y la tendencia que manifieste dicho ciclo, dado por la tasa de crecimiento del producto global (v).

- 8) De lo expuesto en el inciso anterior se deduce que existe una serie

de probabilidades para efectuar la inversión bruta y la neta para cada sector i de la producción, que dependen de las expectativas de ganancia inmersa en el ciclo económico y en la tendencia de la tasa de crecimiento de la producción. -

Por tanto, si se aceptan como acoplamientos de la solución de la ecuación de balance de la tabla de balance ampliada a los segundos miembros, o sean:

$$\sum_{j=1}^n [\alpha_{ij} - (\nu\beta)_{ij} - (c\mu)_{ij}] X_j(t) ; \quad \sum_{j=1}^m \sigma_{ij} X_j(t) + m_{i0}(t)$$

y se acepta que en el primer término se representan los flujos de reproducción del capital constante y variable y en el segundo los flujos de inversión neta o de reproducción ampliada, y que ambos dependen de la tasa de ganancia p , entonces

$$\sum_{j=1}^n [\alpha_{ij} - (\nu\beta)_{ij} - (c\mu)_{ij}] X_j(t) + \sum_{j=1}^m \sigma_{ij} X_j(t) + m_{i0}(t) = F [p(t)]$$

o bien $X_i(t) = F [p(t)]$, donde $p(t)$ es la tasa de ganancia esperada en el tiempo (t) .

Si se supone que la inversión bruta α_i y la inversión neta σ_i se pueden expresar como:

$$\alpha_i t \text{ y } \sigma_i t = f(\mu t, \beta t, T_e t, C_m t, \gamma_i t, g_i t, \pi_i t, t-1),$$

$$\text{y que: } \mu t = f(p) t ; \beta t = f(p) t ; T_e t = f(p) t ; C_m t = f(p) t ;$$

$$\gamma_i t = f(p) t ; g_i t = f(p) t ; \pi_i t = f(p) t ; t-1 = f(p) t$$

y que los parámetros anteriores adquieran determinados valores - de acuerdo con las expectativas de ganancia o bien con las probabilidades de ganancia que se tengan respecto al momento en que en el ciclo y la tendencia se encuentre el proceso productivo, entonces,

$$\text{si } X_i(t) = F[\alpha_i(t), \sigma_i(t)] = F[p(t)]$$

$$\text{y si } P X_i(t) = F P[\alpha_i(t), \sigma_i(t)] = F P[p(t)],$$

denotando por $P X_i(t)$ la probabilidad de obtener una producción determinada en un sector determinado i , de acuerdo con una norma que serfa la condición de equilibrio para la reproducción ampliada, que a su vez depende de la probabilidad con que se den la inversión bruta (α_i) y la inversión neta (σ_i), las que a su vez dependen de la probabilidad de obtener una determinada tasa de ganancia, entonces, si la condición de equilibrio para la reproducción ampliada en el sistema capitalista se denota por \hat{X}_t , - las diferencias que se observan en el sistema respecto a \hat{X}_t dependen del ciclo económico y de la tendencia de la producción en un momento determinado, expresados por la probabilidad de obtención de ganancia en un momento determinado t , que influye directamente en la probabilidad de realización de la inversión bruta α_i y la inversión neta σ_i en ese momento t .

9) Si $P X_i(t) = f P[\alpha_i(t), \sigma_i(t)] = f P[p(t)]$, y como $\alpha_i(t)$ y $\sigma_i(t) = f(\mu_t, \theta_t, T_e t, C_m t, \gamma_i t, g_i t, \pi_i t, t-1)$,

entonces

$$PX_i(t) = f\{P(\mu, \varrho, t, Tet, Cmt, \gamma_{it}, g_{it}, \pi_{it}, t-1)\}, \text{ o bien}$$

$$PX_i(t) = f\{P[p(t)](\mu, \varrho, t, Tet, Cmt, \gamma_{it}, g_{it}, \pi_{it}, t-1)\} :$$

Si $\hat{P}X_t \approx 1$, o sea que, $PX_i(t) \approx 1$

10) La tabla de balance ampliada puede, expresando los términos $[\alpha_{ij} - (v\varrho)_{ij} - (c\mathcal{A})_{ij}]$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) como:

$$[\alpha_{ij} - \delta_{ij}] \text{ (i, j = 1, 2, \dots, n) donde } \delta_{ij} = [(v\varrho)_{ij} + (c\mathcal{A})_{ij}] \text{ (i, j=1, 2, \dots, n)}$$

quedar de la siguiente manera:

$[\alpha_{11} - \delta_{11}] X_1$	$[\alpha_{12} - \delta_{12}] X_2$	\dots	$[\alpha_{1n} - \delta_{1n}] X_n$	$\sigma_{11} X_1$	$\sigma_{12} X_2$	\dots	$\sigma_{1n} X_n$	m_1^0	X_1
$[\alpha_{21} - \delta_{21}] X_1$	$[\alpha_{22} - \delta_{22}] X_2$	\dots	$[\alpha_{2n} - \delta_{2n}] X_n$	$\sigma_{21} X_1$	$\sigma_{22} X_2$	\dots	$\sigma_{2n} X_n$	m_2^0	X_2
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
$[\alpha_{n1} - \delta_{n1}] X_1$	$[\alpha_{n2} - \delta_{n2}] X_2$	\dots	$[\alpha_{nn} - \delta_{nn}] X_n$	$\sigma_{n1} X_1$	$\sigma_{n2} X_2$	\dots	$\sigma_{nn} X_n$	m_n^0	X_n

Extrayendo los parámetros $(\mu, \varrho, \gamma, g, \pi, t-1)$ de las matrices de

flujos de reproducción y de inversión neta, expresando $[\alpha_{ij} - \delta_{ij}] X_i -$

$$[\mu_{ij} + \varrho_{ij} + \gamma_{ij} + g_{ij} + \pi_{ij} + (t-1)_{ij}] X_i \text{ (i, j = 1, 2, \dots, n) como:}$$

$$\pi_{ij} X_i \text{ (i, j = 1, 2, \dots, n), y expresando } \sigma_{ij} X_i - [\gamma_{ij} + g_{ij} + \pi_{ij} +$$

$$(t-1)_{ij}] X_i \text{ (i, j=1, 2, \dots, n) como } H_{ij} X_i \text{ (i, j=1, 2, \dots, n) y de igual modo}$$

$$m_i^0 - [\gamma_{ij} + g_{ij} + \pi_{ij} + (t-1)_{ij}] \text{ (i, j=1, 2, \dots, n) como } M_i^0 \text{ (i, j=1, 2, \dots, n)}$$

la tabla de balance ampliada queda:

$\pi_{11} X_1$	$\pi_{12} X_2$	\dots	$\pi_{1n} X_n$	$H_{11} X_1$	$H_{12} X_2$	\dots	$H_{1n} X_n$	M_1^0	X_1
$\pi_{21} X_1$	$\pi_{22} X_2$	\dots	$\pi_{2n} X_n$	$H_{21} X_1$	$H_{22} X_2$	\dots	$H_{2n} X_n$	M_2^0	X_2
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
$\pi_{n1} X_1$	$\pi_{n2} X_2$	\dots	$\pi_{nn} X_n$	$H_{n1} X_1$	$H_{n2} X_2$	\dots	$H_{nn} X_n$	M_n^0	X_n

Asímismo, expresando las probabilidades de los factores (μ , ϑ , γ , g , π , t-1 Te, Cm) en forma matricial en función de la tasa de ganancia p, actuando sobre la matriz de flujos de reproducción π_{ij} , designando a la suma ($\mu_{ij} + \vartheta_{ij} Te_{ij} + Cm_{ij} + g_{ij} + \pi_{ij} + (t-1)_{ij}$) (i, j = 1, 2, ..., n) como O_{ij} (i, j = 1, 2, ..., n) queda:

$$\left\{ \pi_{11} + [P_{pt} (O_{11})] X_1 \right\} \left\{ \pi_{12} + [P_{pt} (O_{12})] X_2 \right\} \cdot \cdot \cdot \left\{ \pi_{1n} + [P_{pt} (O_{1n})] X_n \right\}$$

$$\left\{ \pi_{21} + [P_{pt} (O_{21})] X_1 \right\} \left\{ \pi_{22} + [P_{pt} (O_{22})] X_2 \right\} \cdot \cdot \cdot \left\{ \pi_{2n} + [P_{pt} (O_{2n})] X_n \right\}$$

.....

.....

$$\left\{ \pi_{n1} + [P_{pt} (O_{n1})] X_1 \right\} \left\{ \pi_{n2} + [P_{pt} (O_{n2})] X_2 \right\} \cdot \cdot \cdot \left\{ \pi_{nn} + [P_{pt} (O_{nn})] X_n \right\}$$

Se le designará a esta matriz de flujos reproductivos como π'

Expresando las probabilidades de los factores (γ , g , π , t+1) en forma matricial en función de la tasa de ganancia p, actuando sobre la matriz de flujos de reproducción ampliada H_{ij} , designando a la suma ($\gamma_{ij} + g_{ij} + \pi_{ij} + (t+1)_{ij}$) como O_{ij} (i, j = 1, 2, ..., n) queda:

$$\begin{Bmatrix} H_{11} + [P_{pt} (0'_{11})] X_1 & H_{12} + [P_{pt} (0'_{12})] X_2 & \dots & H_{1n} + [P_{pt} (0'_{1n})] X_n \\ H_{21} + [P_{pt} (0'_{21})] X_1 & H_{22} + [P_{pt} (0'_{22})] X_2 & \dots & H_{2n} + [P_{pt} (0'_{2n})] X_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{n1} + [P_{pt} (0'_{n1})] X_1 & H_{n2} + [P_{pt} (0'_{n2})] X_2 & \dots & H_{nn} + [P_{pt} (0'_{nn})] X_n \end{Bmatrix}$$

Se le designará a esta matriz de flujos reproductivos ampliados como H'

Expresando las probabilidades de los factores ($\gamma, \xi, \pi, t+1$) para la parte de la tabla de balance ampliada que representa el consumo de los capitalistas o sea M_i^0 , en función de la tasa de ganancia, y designando a la suma ($\gamma_{ij} + \xi_{ij} + \pi_{ij} + (t+1)_{ij}$) como O''_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) queda:

$$\begin{matrix} M_1^0 [P_{pt} (0'_{11})] X_1 & M_1^0 [P_{pt} (0'_{12})] X_2 & \dots & M_1^0 [P_{pt} (0'_{1n})] X_n \\ M_2^0 [P_{pt} (0'_{21})] X_1 & M_2^0 [P_{pt} (0'_{22})] X_2 & \dots & M_2^0 [P_{pt} (0'_{2n})] X_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_n^0 [P_{pt} (0'_{n1})] X_1 & M_n^0 [P_{pt} (0'_{n2})] X_2 & \dots & M_n^0 [P_{pt} (0'_{nn})] X_n \end{matrix}$$

Se le designará a esta matriz de consumo de los capitalistas como M'0

De todo lo anterior, la ecuación de balance para la producción, expresada ésta en probabilidades sobre los factores ($\mu, \theta, \delta, \xi, \pi, t-1, T_e, C_m$) en función de la tasa de ganancia, será:

$$PX_i(t) = \pi + H' + M'0$$

Si para la norma, $PX_1(t) \approx \hat{P}\hat{X}_t \approx 1$, entonces $(\Pi' + H' + M'b) \approx 1$

11) La entropía, como el grado de desequilibrio de un sistema, vendrá expresada por los valores en probabilidad de las matrices Π' , H' y $M'o$, que a su vez representan los acoplamientos de los flujos de reproducción, de reproducción ampliada y de consumo de los capitalistas, respecto de los parámetros $(\mu, \varphi, \gamma, g, \pi, \lambda, T_a, C_m)$ en función de la tasa de ganancia p . Cuando la probabilidad del sistema en su conjunto sea aproximada al valor límite 1, entonces el sistema cuenta con reguladores lo suficientemente eficientes acoplados alternativamente en serie y en paralelo de tal modo que se acerca a la condición de equilibrio para el caso de la reproducción ampliada. La entropía del sistema por tanto, tenderá hacia el valor límite cero, producto de la diferencia del valor límite de probabilidad 1 respecto a las probabilidades que cada matriz de acoplamientos guarde realmente. En este caso, el sistema tenderá a ser ergódico con una duración de la misma dependiente del grado de ajuste que los reguladores observen respecto a las perturbaciones dadas por $(\mu, \varphi, \gamma, g, \pi, \lambda, T_a, C_m)$

Sin embargo, dado el carácter cíclico y anti-ergódico que guardan el proceso de reproducción y acumulación del capital y el sistema capitalista como un todo, expuesto en los puntos a) y b) -

de este párrafo, la probabilidad de las matrices Π' , H' y M'_0 , y de los acoplamientos entre los parámetros enunciados líneas arriba, actuantes ambos en función de la tasa de ganancia, dificultan ampliamente la regulación respecto a la condición de equilibrio del sistema, por lo cual es de preverse deductivamente que la entropía del sistema es tendencialmente mayor que cero, lo cual implica un desequilibrio constante, resultante de las contradicciones internas del sistema, especialmente la condición que determina el volumen y colocación sectorial de la inversión neta, o sea la tasa de ganancia. -

12) Por último, conviene hacer una breve reflexión respecto al uso que de la noción de entropía dan algunos autores a los que limitadamente se ha tenido acceso.

Principiaré por Nicholas Georgescu - Roegen, quien en su ensayo "La Ley de la entropía y el problema económico", editado por la Pergamon Press, 1976 y resumido y presentado por CONACYT en su colección "Ciencia y Cultura", Enero-Febrero 1978, asume una posición puramente mecanicista de la cuestión, considerando que "el proceso económico como un todo debe observarse desde un punto de vista físico, ayudado por una rama de esta ciencia conocida como termodinámica". De esta premisa pasa a considerar apologeticamente al sistema capitalista, justificando el derroche de recursos del sistema como un situación de ca-

rácter natural y perenne por el desequilibrio energético que la entropía conlleva.

Eugeniusz Garbaciak, en su ensayo "El proceso de crecimiento económico a la luz de la ley de la entropía", publicado en "El trimestre Económico" abril-junio, 1979, contempla el problema del crecimiento económico desde una perspectiva del desequilibrio en los recursos naturales, de su agotamiento y del carácter negativo - que esto implica para el medio ambiente, ante lo cual hace una llamada de atención para regular el derroche del crecimiento económico. A nivel de ensayo su trabajo es ciertamente objetivo pero carece de profundidad en cuanto a no tocar la teoría de la regulación y proponer medidas concretas de estabilidad para la Economía así como dar una concepción más amplia en contenido de lo que la entropía implica respecto a un sistema económico determinado. -

Daniel Katz y Robert L. Kahn, en su libro "Psicología social de las organizaciones", Ed. Trillas, 1977, presentan un enfoque - mecanicista de la entropía abocado a la psicología y de ahí lo inducen a la administración, vía las "organizaciones abiertas", término por el cual pretenden regular el "derroche de energía" de los individuos que conforman una organización (inconformidad respecto a la norma de la organización capitalista) y encauzarla vía con---

cientización o eliminación del individuo de la organización. -

C) Formaciones Sociales Capitalistas, sistemas antienergéticos y campo entrópico social.

a) Formaciones sociales capitalistas

i) Yendo de lo abstracto a lo concreto, una formación social en una realidad social concreta históricamente determinada, - caracterizada por una estructura económica en la que coexisten diversas relaciones de producción, estructuras ideológicas y estructuras jurídico-políticas, de las cuales una de esas relaciones de producción, estructura ideológica y jurídico política ocupa un lugar dominante respecto al entorno de relaciones que conforman la variedad del todo concreto en el cual se desenvuelve la formación considerada.

Lo anterior conlleva una diversidad de modos de producción, - concepto que se refiere a la totalidad social global y que abarca - una estructura económica determinante en última instancia de las estructuras jurídico-política e ideológica de la totalidad social considerada.

Ahora bien, en el caso del modo de producción capitalista, su reproducción como tal está asegurada por leyes internas de la estructura económica. Son las leyes internas del desarrollo capita-

lista (acumulación, reproducción ampliada, etc), las que determinan la forma en que se reproduce el sistema y le dan su carácter específico. Los factores superestructurales intervienen en forma manifiesta cuando surgen obstáculos para el desarrollo de estas leyes. "Lo que caracteriza a todo modo de producción es su dinámica, es decir, la continua reproducción de sus condiciones de existencia. El modo de producción capitalista, por ejemplo, al mismo tiempo que reproduce bienes materiales en una forma que implica la división de los hombres de esa totalidad social en capitalistas y obreros, y que da origen a toda una ideología que favorece este tipo de producción y a una forma de poder que la defiende y la estimula, va continuamente reproduciendo sus condiciones de producción". *

Por tanto, modo de producción es el concepto abstracto y por lo mismo revestido de los factores esenciales que se manifiestan en el fenómeno concreto de formación social; es la síntesis dialéctica del fenómeno social a partir del cual se enriquece el análisis de lo concreto, de lo real; en este caso, la formación social, que lleva en su realidad la realidad concreta del modo de producción y sus determinaciones. -

* Harnecker, Marta: "Los conceptos Elementales del Materialismo Histórico". Ed. Siglo XXI Editores, México, 1974. p.63.

ii) Una formación social se puede representar como un sistema compuesto por modos de producción acoplados en retroalimentación de tal forma que el regulador del sistema es el modo de producción dominante. Es éste el que ha provocado y resistido las perturbaciones del medio ambiente social que los demás no han podido hacer y por medio de su sistema de regulación se adapta a las mismas a través de controles específicos. El resto de modos de producción que conforman el sistema formación social van paulatinamente pereciendo como tales (es decir lo que esencialmente los constituía) aunque "heredan" al modo dominante una gama de relaciones a las cuales su sistema regulador tiene que hacer frente ampliando sus parámetros de regulación, estructurándose como un sistema nuevo, diferente, con un modo de acción específico.

La formación social capitalista, como concreción, es una variedad de modos de producción acoplados de los cuales el modo de producción capitalista es el dominante. Sin embargo, no existen dos formaciones sociales capitalistas idénticas, lo cual se debe a las condiciones históricas concretas, que en una región existan bajo la forma de modos de producción específicas y que, al entrar en contacto con el modo de producción capitalista son condicionados y lo condicionan. Es decir, son perturbados hasta el punto de perecer relativamente, pero perturban a su vez al modo domi-

nante condicionándolo y diferenciándolo históricamente de otras formaciones sociales capitalistas, que si bien tienen el rasgo común de relaciones de producción de tipo capitalista, tienen rasgos diferentes en las mismas, producto de las interrelaciones concretas que haya habido en el marco histórico en el que se ubicaron. -

iii) El desarrollo y la sucesión de las formaciones socioeconómicas determinan el avance de la historia. Un aspecto del modo de producción (las fuerzas productivas) es el elemento que asegura la continuidad en el desenvolvimiento ascensional de la sociedad y determina la dirección de ese desenvolvimiento; de lo inferior a lo superior. El segundo aspecto (las relaciones de producción) expresa la discontinuidad en el desarrollo histórico. Las relaciones de producción caducas son suprimidas, surgiendo en lugar de ellas otras más elevadas y una formación superior. Así pues, el proceso de creación y desenvolvimiento de una formación socioeconómica y el paso a otra más elevada se explican por la acción de la ley de la correspondencia de las relaciones de producción al carácter y al nivel de desarrollo de las fuerzas productivas. Esta ley se abre paso como tendencia en el desarrollo y la sucesión de las formaciones socioeconómicas.

En el modo de producción capitalista, y consecuentemente en las formaciones sociales capitalistas, las relaciones sociales de producción (la estructura económica) están determinadas por la existencia de la propiedad privada del capitalista sobre los medios de producción

y de una fuerza de trabajo libre: libre de ser propiedad directa - personal, libre de de los medios de trabajo y de los medios de - existencia. La necesidad económica obliga al obrero a vender su - fuerza de trabajo al dueño del capital como una mercancía, y sólo en esa forma puede unirse a los medios de trabajo y comenzar el proceso de la producción.

iv) Se ha hablado de lo que caracteriza a una formación social capitalista: el carácter dominante del modo de producción capitalista (la relación específica entre fuerzas productivas-relaciones de producción bajo el contexto del capital) en la red de acoplamientos con otros modos de producción. Asimismo, conexo a la red de acoplamientos - entre modos de producción que integran una formación social capitalista, existe otra red de acoplamientos interformaciones sociales capitalistas, de las cuales, un tipo de formaciones guarda el rol dominante y condiciona a las demás a la vez que es condicionada por ellas. Esto tiene su explicación por el grado desigual de desarrollo del capitalismo en el transcurso de la historia, como lo demuestran los estudios de Marx, Lenin, Luxemburgo, Sweezy y Carlo Benetti entre otros, - respecto a los orígenes del capital, su surgimiento, sus condiciones de existencia, su desarrollo; su movimiento, en suma.

v) Si es la estructura económica (las relaciones de producción actuantes sobre las fuerzas productivas) la que condiciona la reproducción del modo de producción capitalista, en ella va

inmersa la reproducción ampliada en su especificidad como motor del sistema capitalista considerado como todo, es decir en las -- redes de acoplamiento intraformación social, como interformaciones sociales. Se ha demostrado en el párrafo anterior la antiergodicidad que como sistema tiene la reproducción ampliada, así como la entropía, como grado de desequilibrio que guarda la misma. En el punto que sigue se intentará desarrollar y demostrar con base en los resultados del párrafo anterior y a su lógica, la antiergodicidad de las formaciones sociales capitalistas y los desequilibrios de las mismas desde la perspectiva entrópica, lo que - permitirá a su vez demostrar que es posible hablar de un campo entrópico social. -

b) Expresión de la antiergodicidad y la entropía como campo entrópico social en las formaciones sociales capitalistas.

La antiergodicidad de una formación social capitalista se da - como resultado del alejamiento de la función de dirección del sistema (la condición de equilibrio de la reproducción ampliada) en - el modo de producción dominante, a resultas de las perturbaciones que ocasionan el carácter cíclico del sistema y que son, como se ha visto en el párrafo anterior, el coeficiente de propensión a la inversión γ_i , el coeficiente de sensibilidad de la inversión ante el capital constante g_i , el beneficio unitario esperado en -

un sector dado i (π_i), el período de realización de la inversión ($t - \lambda$) o sea la magnitud de las inversiones en el período t que depende de la rentabilidad de las inversiones en el período ($t - \lambda$), y, siendo la magnitud determinante de todos estos coeficientes, la tasa de beneficio (o ganancia) p esperada por la inversión a realizar.

i) Si se pudieran representar en una matriz de acopla -- mientos los diversos modos de producción existentes o diferencia- bles para una formación social en función del modo de producción - capitalista dominante, es decir, enunciar a través de estudios eco - nómicos y sociopolíticos las transformaciones que en el transcur- so de la historia se han dado en las fuerzas productivas, en la - base y en la superestructura de una formación social a partir de - la aparición de las condiciones de desarrollo del modo de produc- ción capitalista, se podría tener una "calca" aproximada del modo de acción del sistema, o sea de la formación social considerada.

Lo anterior implica en forma muy gruesa la ampliación de los esquemas de reproducción ampliada hacia sistemas que dieran cier- tos índices que representados en forma de matrices vertieran la - imagen que revestía la reproducción ampliada previa a la apari- - ción del modo de producción capitalista; igualmente, índices del - carácter que revestían las relaciones de producción (estructura) y las relaciones superestructurales previas a la aparición del modo

de producción capitalista. De ellos, de manera similar a como se efectúan actualmente los estudios sociales conforme a las leyes y categorías del materialismo histórico, se conocerían las perturbaciones - existentes y los reguladores que empleaba la formación social considerada para mantener su estabilidad relativa. De lo anterior se podría - concebir la perturbación que generó la ruptura en los reguladores de la formación social ante el modo de producción capitalista y la manera en que fue conformada y conformó al modo dominante, así como también - los nuevos parámetros que generó en su sistema regulador a nivel es - tructural y superestructural para hacer frente a las perturbaciones pro - pias del capitalismo, de sus contradicciones internas.

ii) Esquemáticamente el inciso anterior se podría representar - como sigue:

$$F_{sc} = f (M_{te} + M_E + M_S)$$

Una formación social capitalista se puede considerar en función de los acoplamientos que existen a nivel de las fuerzas productivas, que generan una determinada base técnica de producción, expresada por medio de la matriz de índices (M_{te}), más los acoplamientos que existen en las relaciones de producción (estructura) y que condicionan en buena medida el nivel de la base técnica en un momento determinado, expresados por - la matriz estructural (M_E), más los acoplamientos que existen entre la superestructura con las relaciones de producción, e inciden también en el nivel de la base técnica, expresados por la matriz superestructural

(M_S). Por tanto, la Formación social capitalista así considerada sería una superposición de acoplamientos intra e intermatrices -- con sus respectivos reguladores y transformadores, que se representaría como:

$$F_{sc} = f \left[M_{te} + M_E + M_S \right] \left[R_{te}^{(T1)} + R_E^{(T2)} + R_S^{(T3)} \right]$$

Es decir, una formación social capitalista determinada históricamente está en función de la serie de acoplamientos expuestos -- por las matrices técnica, estructural y superestructural, que dependen de las matrices de los sistemas de regulación técnica, estructural y superestructural (R_{te} , R_E y R_S) sobre los que se dan determinadas transformaciones (T_1, T_2, T_3) que permiten -- atenuar las perturbaciones originadas por el movimiento, por las contradicciones de la formación social capitalista hasta cierto límite, fuera del cual la formación se aleja acumulativamente de su -- función de dirección \hat{X}_t , y, como se ha visto en el párrafo -- anterior, ese alejamiento está dado por el ciclo económico y sus condicionantes. -

iii) Si una formación social capitalista es producto del acoplamiento de varios modos de producción, entre los que es dominante el modo de producción capitalista, pero a su vez se ve influido por los modos de producción que domina o tiende a dominar, en-

tonces esto se puede acotar como:

$$F_{sc} = f \left[MP_C + MP_D \right] \left[R_{MP_C}^{(T)} + R_{MP_D}^{(T)} \right]$$

O sea que en una formación social capitalista existe una matriz de acoplamientos del modo de producción dominante (MP_C) y los modos de producción dominados (MP_D) que interactúan a través de los reguladores del dominante (R_{MP_C}) y los dominados (R_{MP_D}) mediante ciertas transformaciones (T_α y T_β), y por tanto, de esto y de la notación del inciso 2), queda lo siguiente:

$$F_{sc} = f \begin{bmatrix} \left[MP_C + MP_D \right] & \left[R_{MP_C}^{(T_\alpha)} + R_{MP_D}^{(T_\beta)} \right] \\ \left[M_{te} + M_E + M_S \right]_{MP_C} & \left[R_{te}^{(T1)} + R_E^{(T2)} + R_S^{(T3)} \right]_{MP_C} \\ \left[M_{tc} + M_E + M_S \right]_{MPD} & \left[R_{te}^{(T1)} + R_E^{(T2)} + R_S^{(T3)} \right]_{MPD} \end{bmatrix}$$

Una formación social capitalista depende, o está en función de las matrices de acoplamientos entre el modo de producción dominante y el dominado, de las matrices de los sistemas de regulación y transformadores del modo de producción dominante y los dominados, de las matrices de acoplamiento técnicas, estructurales y superestructurales del modo de producción dominante y los dominados, y sus respectivas matrices de acoplamiento de los sistemas de regulación y transformadores técnicos estructurales y superestructu

rales.

Esto, gruesamente expuesto, constituye el modo de acción o la red de acoplamientos de una formación social; su movimiento a través de las concatenaciones o múltiples determinaciones que posibilitan el conocimiento de lo real concreto.

Si a la matriz o red de acoplamientos anterior se le denota como S , entonces $F_{SC} = f [S]$.

iv) Como se ha indicado, las formaciones sociales capitalistas son diferentes pero con nexos comunes. Así, históricamente se han estructurado formaciones sociales capitalistas que guardan un papel dominante sobre otras. A su vez, estas formaciones sociales tienen relaciones entre ellas y las dominadas: si se denota a las dominantes como FSC_D y a las dominadas como FSC_d y haciendo la suposición de que las FSC_D tienen un arreglo matricial de acoplamientos semejante al del inciso anterior, al que se acotará como S' , entonces resulta:

$FSC_D = f [S']$, donde $[S']$ expresa las redes de acoplamientos de las FSC_D y de éstas con las FSC_d , que a su vez dependen de las redes de acoplamientos $[S]$

Queda así un sistema global de acoplamientos para las formau

ciones sociales capitalistas, del cual se pueden inferir tanto sus rangos de estabilidad como de desequilibrio. A esto me referiré en los siguientes incisos.

v) Se ha mencionado líneas arriba que la contradicción fundamental para el cambio de una formación social a otra lo constituye la no correspondencia entre el desarrollo de las fuerzas productivas y las relaciones sociales de producción. En el sistema capitalista esto se representa como el carácter cada vez más social que reviste el proceso productivo y la apropiación privada del producto generado socialmente.

Como se ha tocado en el párrafo referente a la reproducción ampliada, el carácter antiérgico o de alejamiento de la función de dirección del sistema capitalista, que teóricamente sería el de equilibrio intersectorial o bien una función cercana a ésta que asegure la estabilidad del funcionamiento del sistema (al trazo de la cual se aboca en su dinámica el sistema capitalista bien a través de la "integración económica internacional", ciertas medidas de bienestar social, etc.), viene expresada por el fin del sistema: la ganancia, que crea anar-

quía en la producción, competencia monopolista y crisis periódicas cada vez más amplias, a las cuales el sistema tiene que responder con reguladores más sofisticados y transformadores más elaborados para "sujetar" al sistema dentro de ciertos parámetros de existencia.

vi) La tabla de balance de reproducción ampliada del párrafo anterior es cerrada en cuanto que no se han considerado los flujos reproductivos y de inversión neta (σ) que provienen del exterior, de otros sistemas. Si se "abre" esta tabla, considerando como α'_i la inversión bruta que para fines de reproducción proviene del exterior y se utiliza en el sector i ; σ'_i la inversión neta que para fines de ampliación en la reproducción proviene del exterior y se utiliza en el sector i ; m'_{i0} la parte del beneficio generado en el exterior y que se emplea para el consumo del sector i , entonces la ecuación de balance para la tabla de balance ampliada tomaría la forma:

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n [\alpha_{ij} + \alpha'_{ij} - \delta_{ij}] X_j(t) + \sum_{j=1}^n [\sigma_{ij} + \sigma'_{ij}] X_j(t) + m_{i0}(t) + m'_{i0}(t)$$

donde $\delta_{ij} = [v(\sigma)_{ij} + c(\mu)_{ij}]$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), y donde σ y σ' contiene a los coeficientes $\gamma, g, \pi, (t-1)$ propios del modo de producción capitalista.

Adicionalmente, se supone que en las formaciones sociales - previas a la implantación del modo de producción capitalista como dominante, se daba una situación similar en cuanto a su balance - reproductivo, considerando que la inversión bruta y neta dependía de la forma que revistiera cualitativamente el beneficio (plusvalía y ganancia específicos del modo de producción capitalista en función de que provienen de las relaciones concretas de producción - bajo la forma trabajo asalariado y mercado capitalista; renta, específica del modo de producción feudal) dentro del modo de producción dominante, y se consideran diferencias cualitativas para las - expectativas de inversión neta (que en el modo de producción capitalista son los coeficientes $\gamma, g, \pi, (t-1)$), denominándolas ξ , - aunando el hecho de que la condición de equilibrio para la reproducción ampliada en una formación social no capitalista era que la masa de medios de producción existente y el beneficio empleado - en ampliar esa masa de $n-1$ sectores productores de bienes de - consumo debía ser igual a la fuerza de trabajo existente y al beneficio empleado en ampliar la fuerza de trabajo de m sectores pro

ductores de bienes de producción y el consumo de los propietarios del producto excedente de los n sectores, o sea, $(1 + m)$. Así, las formaciones sociales previas a la implantación del modo de producción capitalista poseían igualmente sus propios sistemas de regulación y sus transformadores ante perturbaciones internas que afectaran su cuasiequilibrio, pero llevaban en su seno contradicciones propias que las hacían antienergéticas (no correspondencia de fuerzas productivas y relaciones de producción), y ante perturbaciones externas, como fue el desarrollo del capitalismo a nivel mundial, se rompieron los reguladores tanto a nivel de fuerzas productivas, estructura y superestructura, creándose nuevos tipos de formaciones sociales capitalistas con diferencias cualitativas según los acoplamientos entre los modos de producción que coexistían en ellas.

Conviene acotar que el carácter antienergético de una formación social proviene de la amalgama de perturbaciones y desequilibrios que se dan en el todo, o sea, en las relaciones de estructura y superestructura de los diversos modos de producción que la componen. Es por esta causa que la formación social en su movimiento, considerada como sistema, tiene que hacer continuas adaptaciones a sus reguladores, precisamente por las diferentes contradicciones que en los acoplamientos intra e intermodos de producción a nivel de base y superestructura se producen, desviándola de la

norma o función de dirección que pudiera trazarse como estabilizadora.

vii) Ahora bien, si de la matriz S de acoplamientos intra e intermodos de producción de una Formación social capitalista dada se pueden separar los factores que condicionan el nivel de la reproducción ampliada del modo de producción capitalista ($T_e, C_m, \gamma_i, g_i, \pi_i, t-l$) y se les denota por ξ' (factores que son el conjunto de expectativas de inversión sobrevivientes de los modos de producción coexistentes con el capitalista dominante y que influyen en el nivel de reproducción ampliada de la formación social); si los factores denotados por φ representan los acoplamientos de estructura y superestructura del modo de producción capitalista dominante y que influyen en la reproducción ampliada y en el desarrollo de la formación social; si los factores φ' representan los acoplamientos de estructura y superestructura de los modos de producción coexistentes con el capitalista dominante e influyen igualmente en la reproducción ampliada y desarrollo de la formación social; si los factores denotados por ψ representan el conjunto de expectativas de inversión de las formaciones sociales capitalistas dominantes sobre la formación social capitalista dominada y que influyen en su nivel reproductivo; y si los factores denotados por λ , representan los acoplamientos de estructura y superestructura de las formaciones sociales capitalistas dominantes que influyen en los factores φ y φ' de - - -

la formación social capitalista dominada que se considera, entonces:

$F_{scd} = f(\xi', \xi, \varphi, \varphi', \psi, \lambda)$, o sea que es en estos factores sobre los que actúan los reguladores $(R_{MFC}^{(\tau\alpha)})$ y $(R_{MPD}^{(\tau\beta)})$ de la matriz de acoplamientos S para mantener a la formación social capitalista que se considere, dentro de ciertos parámetros de estabilidad.

viii) Si de la matriz S de acoplamientos intra e intermodos de producción de una Formación social capitalista dominante se pueden separar los factores internos que condicionan su nivel de reproducción ampliada, que se denotarán por ξ'' ; los factores M y M' , que son respectivamente los factores de reproducción ampliada de otras formaciones sociales capitalistas dominantes que influyen en la reproducción ampliada de la formación social dominante considerada, y los factores de reproducción ampliada de formaciones sociales capitalistas dominadas que a su vez influyen en el grado de reproducción de la FSC_D : los factores φ'' y φ''' que representan los acoplamientos estructura-superestructura del modo de producción dominante de la propia FSC_D que influyen en su desarrollo y los acoplamientos estructura-superestructura de los modos de producción coexistentes en la propia FSC_D y que influyen en su desarrollo; los factores φ^* y φ^{**}

que representan los acoplamientos estructura-superestructura del resto de FSC_D y que influyen en el desarrollo de Q'' y Q''' de la FSC_D considerada, y los acoplamientos estructura-superestructura de las FSC_d que afectan el grado de desarrollo de la FSC_D considerada, entonces:

$$FSC_D = f(\xi'', M, M', Q'', Q''', Q^*, Q^{**})$$

Como puede apreciarse, los reguladores y transformadores de una formación social capitalista dominante, tienen factores de mayor "peso específico" para estabilizarse de acuerdo con la norma de desarrollo \hat{X}_t , que las Formaciones sociales capitalistas dominadas, y también tienen mayor poder en sus reguladores. Sin embargo, el carácter antiérgico es manifiesto. Esto es más palpable si se establece un sistema global de acoplamientos para el total de formaciones sociales capitalistas, que estaría formada por las interrelaciones de desequilibrio acotadas párrafos arriba. Este sistema podría presentarse matricialmente como:

$$ST = f \begin{bmatrix} FSC_{D11} & FSC_{D12} & \dots & FSC_{D1n} \\ FSC_{D21} & FSC_{D22} & \dots & FSC_{D2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ FSC_{Dn1} & FSC_{Dn2} & \dots & FSC_{Dnn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FSC_{d11} & FSC_{d12} & \dots & FSC_{d1n} \\ FSC_{d21} & FSC_{d22} & \dots & FSC_{d2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ FSC_{dn1} & FSC_{dn2} & \dots & FSC_{dnn} \end{bmatrix}$$

donde cada $FSC_{Dij} = f(\xi'', M, M', Q'', Q''', Q^*, Q^{**})$

y donde cada $FSCd_{Lj} = f (F', F, Q, Q', \psi, \lambda)$

Estas redes de acoplamiento o matrices intra e interdesequilibrios determinan los diversos reguladores, transformadores y rutas de control para cada acoplamiento, y en consecuencia, una multiplicidad de funciones de dirección \hat{X}_t .-

ix) Si la serie de disequilibrios antes expuestos tienen -- una probabilidad de presentarse y caer fuera del control de los reguladores, lo que se puede indicar como $p = (1 - Q)$, donde Q es la infalibilidad de los reguladores, entonces cada

$$FSCD = f (PF'', PM, PM', PQ'', PQ''', PQ^*, PQ^{**}),$$

$$\text{y cada } FSCd = f (PF', PF, PQ, PQ', P\psi, P\lambda)$$

En consecuencia,

$$ST = f \begin{bmatrix} PFSCD_{11} & PFSCD_{12} \dots & PFSCD_{1n} \\ PFSCD_{21} & PFSCD_{22} \dots & PFSCD_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ PFSCD_{n1} & PFSCD_{n2} \dots & PFSCD_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PFSCd_{11} & PFSCd_{12} \dots & PFSCd_{1n} \\ PFSCd_{21} & PFSCd_{22} \dots & PFSCd_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ PFSCd_{n1} & PFSCd_{n2} \dots & PFSCd_{nn} \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, si se acepta la entropía como medida del grado de desequilibrio en el desarrollo de un proceso real, y si se aceptan como reales los acoplamientos que pueden existir en las matrices de acoplamientos que conforman ST (cada acoplamiento va revestido de múltiples determinaciones que le dan su contenido

concreto), entonces la entropía o el desequilibrio que se da en cada acoplamiento de los descritos, puede tener un valor cercano a cero, o sea, que esté casi ajustado con la norma dada, o un valor cercano a 1, lo que indica que el desequilibrio es incontrolable, y el proceso, antienergético.

Una formación social capitalista dominante o dominada, dado el carácter antienergético que tiene como sistema, es de preverse - que tenga una entropía elevada, o sea, un grado de desequilibrio - elevado, condicionado por la concatenación de contradicciones inherentes al sistema capitalista encuadradas en la contradicción principal: un desequilibrio cada vez más amplio entre las fuerzas productivas y las relaciones sociales de producción, enfocadas estas - últimas a la extracción de la máxima plusvalía y la obtención de - la máxima ganancia, lo que, desde la instancia económica lleva implícita a la crisis de producción como constante del sistema.

x) Pudiendo expresar probabilísticamente los desequilibrios de las diversas redes de acoplamientos de los sistemas bajo los - cuales se representan el todo y las partes del sistema capitalista y las formaciones sociales que lo integran, se puede hablar de campo entrópico social, concepto que respeta las leyes y las categorías propias de la dialéctica materialista de la historia que adquiere su especificidad, su concreción particular y su contenido propio, conforme al campo de lo social en el cual se apliquen, con-

forme al tipo de movimiento social que expliquen, sea económico, político, psicológico, etc. A su vez, cada tipo de movimiento social posee sus propias leyes y categorías internas que permiten conocer su desarrollo, pero mantienen un nexo dialéctico con las leyes y categorías del Materialismo Histórico en función del cual es posible conocer más ampliamente las leyes generales y fuerzas motrices del desarrollo social, con lo cual se cumple el proceso dialéctico del análisis de lo concreto real y su síntesis, para de ahí enriquecer el análisis con nuevas determinaciones del objeto a conocer en su desarrollo. -

La entropía, como principio general que expresa el grado de desequilibrio de un proceso real, encuentra en el proceso social una forma de expresión concreta: el desequilibrio del mismo. No es la entropía la Economía o la Psicología o la Historia, pero sí es en su contenido la expresión del desequilibrio que las leyes y las categorías de lo económico, político, etc se encargan de dilucidar en el desarrollo de la parte social que expliquen. Es, en otras palabras, la medida del grado de irreversibilidad de un proceso real, sea natural o social, y por definición todo proceso real es irreversible dependiendo el grado de irreversibilidad y su duración de los parámetros de regulación con que cuente el proceso considerado.

La noción de campo indica el ámbito, el medio en el cual se

expresa la entropía. Así, el campo entrópico social es referido a la generalidad social; al entorno que ocupa lo social dentro de la realidad. De ahí, si la forma más general en la cual se expresa lo social es en la categoría de formación social, que reúne las particularidades concatenadas del ser social, es en ésta donde se ubica al campo entrópico social. Asimismo, si la parte del ser social a estudiar son las relaciones sociales de producción, el campo entrópico social se particulariza a esa parte del ser social. De igual modo, si la parte a analizar del ser social es la reproducción ampliada y la acumulación implícita en la misma, el campo entrópico social se particulariza en la expresión, desde la perspectiva de la entropía, de los desequilibrios en la reproducción -- ampliada, los que, se vuelve a insistir, son producto de factores específicos de acuerdo con el modo de producción de que se trate pero esto no impide el que puedan ser considerados desde el punto de vista de la entropía. Tal cosa es lo que se ha perseguido en -- esta tesis y obviamente está sujeto a crítica, y sobre todo, a su comprobación en la práctica.

CONCLUSIONES

Los logros a los que el autor considera ha llegado en el transcurso de este estudio pueden ubicarse desde dos perspectivas: una de orden metodológico, y otra referida a una apertura teórica para el tratamiento de problemas concretos; en este caso de carácter económico. Ambos, por una parte, se encuentran conjugados, ya que el camino, el método seguido para la investigación implicó análisis teóricos diversos, lo que planteó visualizar los nexos comunes en el instrumental teórico que se tocó, revirtiendo esto a su vez en el propio bagaje conceptual del estudio, enriqueciéndolo y ofreciendo nuevas formas de estructurar la demostración de las hipótesis planteadas y desarrolladas en el mismo. De igual manera, con estos resultados se moduló el método empleado, dirigiéndose en forma más precisa al tratamiento de los objetivos de cada capítulo y de la tesis en general.

Así, desde la perspectiva metodológica, los resultados a los que se llegó se caracterizan a continuación:

- a) La factibilidad de extrapolar, como se hizo, categorías de una ciencia física a una ciencia social, por medio de la analogía, habida cuenta de las limitantes que imponen los diferentes campos de la realidad concreta en los que cada ciencia se desarrolla. Sin embargo, la universalidad material permite por ese hecho, lo universal, descubrir las conexiones, los vínculos con

lo general y lo particular, en forma deductiva, y del mismo modo, inductivamente, establecer formas de corroboración a esas conexiones y ubicar los límites cualitativos y cuantitativos en que se manifiestan y desarrollan. Con esto, se precisa y enriquece el conocimiento del fenómeno que se investiga, lo cual se considera haber realizado bajo ciertos parámetros. En este contexto, la entropía es una categoría que guarda cabida en las ciencias sociales y lógicamente, en la Economía. El carácter que reviste se da cuantitativamente en términos de probabilidades y, cualitativamente, en el grado de desequilibrio de un fenómeno en su movimiento. Ahora bien: si el fenómeno de estudio es la reproducción de capital en un modo de producción capitalista específico, y si se quiere expresar la probabilidad en que se van a dar ciertos desajustes que desequilibrium el proceso de reproducción, con sus consecuentes secuelas expresadas en el ciclo económico, es necesario conocer la "historia" del proceso de reproducción y acumulación capitalista particular, lo que implica actuar, en términos de teoría de sistemas, ubicando la ergodicidad que el proceso de reproducción tenga, es decir, su grado de reversibilidad o autoconducción en el futuro conociendo su pasado, lo que significaría en términos económicos, que en el futuro se den resultados previstos para la actividad económica

en general, bajo los instrumentos de política económica sentados ex-ante o durante, para actuar ex-post, con cambios automáticos ante posibles desfases. Así, conocida o explicada en buena medida la "historia" del fenómeno, se pueden consignar las probabilidades con que secuencialmente se dio cada hecho del mismo, e inferir la certeza con que se darán hechos posteriores, lo que en nuestro caso sería la probabilidad y por ende, el grado de desequilibrio en el proceso de reproducción de capital. Estos aspectos se tocaron en el Capítulo IV.

- b) Para emitir una conclusión como la anterior, se deben respetar el método dialéctico, y las leyes y las categorías del Materialismo Histórico con que opera la ciencia económica, así como sus propias categorías. Esto complica la investigación, pero es parte propia del análisis económico, y en el grado en que se cumpla una investigación así estructurada los resultados que arroje serán más fieles a la realidad. De esta manera se ha intentado actuar en el desarrollo de esta tesis, y con tal medida se ha alejado de una posición mecanicista que hubiera resultado de la no observancia a lo anterior. Así, el seguimiento que se hizo de la noción de entropía en las ciencias particulares (Capítulo II), analizando también lo que las distingue y las une cualitativamente, en función de su propia particula -

ridad y su inmersión en la dialéctica materialista, fue un esfuerzo encaminado a la finalidad de observancia no mecanicista al extrapolar la noción de entropía a las ciencias sociales, para de ahí, - pasar al campo de lo económico. Tal efecto se logró y se expuso en el Capítulo IV, precedido por la factibilidad de utilizar como puente entre el lenguaje de la Física y la Economía al - lenguaje de la Teoría de Sistemas, con miras a homogeneizar - el tratamiento analógico de la entropía con la Economía y de - ésta con la acumulación y reproducción de capital, así como - las nociones de entropía, sistema ergódico y antiergódico y Formación Social. Tal hecho se dió, positivamente, en el Capítulo III.

- c) Se pueden resumir los dos puntos anteriores y señalar que, metodológicamente, se prueba en este trabajo la analogía entre la - entropía y la acumulación y reproducción de capital a través - de un enfoque no mecanicista del problema, lo cual fue logrado guardando el grado de significación específico que cada categoría a relacionar reviste en cada ciencia, pero encontrando los puntos de unión que a su vez guardan, como elementos explicativos de lo material, ciertas categorías. Esto se concretó ligando lo universal (el materialismo dialéctico e histórico), con lo particular (ciencias particulares), a nivel de leyes y categorías; luego, se observó el grado de coherencia de la entropía en otras cien -

cias y la expresión cualitativa y cuantitativa que revestía para cada una de ellas. Posteriormente se optó por utilizar el lenguaje de la teoría de sistemas (como elemento isomórfico por excelencia), previa prueba de la existencia analógica entre ésta y la entropía, para darles expresión a las relaciones entropía-acumulación y reproducción de capital, y entropía-formaciones sociales-sistemas antienergéticos. Así, el proceso descrito en este punto se puede considerar como la conclusión y la aportación metodológica de esta tesis.

Desde la perspectiva teórica los resultados más importantes que se pueden caracterizar, se expresan a continuación:

- a) La irreversibilidad en el transcurso del proceso de existencia de un fenómeno cualquiera, es la base conceptual sobre la que se ha fincado el análisis de esta investigación. En efecto, en el desarrollo de la misma se ha observado el carácter irreversible tanto en los fenómenos físicos, químicos, biológicos y psicológicos, como en los económicos. Ahora bien: la realidad tiene tal multiplicidad de causas y efectos y el movimiento tiene formas tan variadas de existencia, que resultaría imposible comprenderlo de manera más o menos congruente, si el hombre no efectuara, como lo ha hecho, divisiones conceptuales conforme a cierta tipificación del movimiento de lo real o

bien, en otras palabras, conforme a ciertas trayectorias comunes que lo material, en su movimiento, realiza. Precisamente es en las trayectorias que reviste lo real, hacia donde se ha enfocado en este estudio el análisis de la irreversibilidad.

Como se ha visto en los capítulos precedentes, lo que distingue a cada cuerpo de fenómenos (habida cuenta de las características propias, cualitativas y cuantitativas que poseen), es la velocidad, y por ende su duración, con la que existen como tales en el entorno espacio-tiempo. Y lo que permite que el o los fenómenos tengan ese campo existencial, ese todo y partes que los estructuran, es la serie de estabilizadores que los componen, los que van desapareciendo y surgiendo en el propio desarrollo del fenómeno (en su trayectoria), y lo hacen ser él y no otro, y lo harán devenir en otro, modificándolo, o bien haciéndolo desaparecer. Así pues, los estabilizadores determinan la "vida" y "muerte" de los fenómenos; actúan para conservar la velocidad de las trayectorias el mayor tiempo posible, bien sea la vida de unas bacterias, la fuerza gravitacional, la energía atómica, el cuasi equilibrio químico de un compuesto o el proceso de acumulación en una sociedad determinada, aunque en este caso es el propio hombre el que establece las trayectorias y los estabilizadores para esa acumulación, como se ha visto en el Capítulo IV. Cuando fallan los estabilizadores por causas externas al sistema en-

el que están acoplados, o bien por el propio "envejecimiento" del mismo, ésto deviene en su desaparición o adaptación, lo que en ambos casos significa, dialécticamente, negación de la negación.

Por tanto, todo fenómeno es irreversible. Lo que varía es el grado o velocidad con el que se dá la irreversibilidad según el tipo de fenómeno, que a su vez depende de la adecuación que haya en el mismo, a través de sus estabilizadores, respecto al medio ambiente en el que se desarrolla.

Los fenómenos sociales manifiestan su irreversibilidad, teniendo en cuenta lo que cualitativamente los distingue de otros grupos de fenómenos y lo que los une a ambos, en función de sus características propias. Por medio de ellas se genera el movimiento específico de cada fenómeno social, lo que implica conexiones determinadas con su medio ambiente y estabilizadores propios para desenvolverse en éste. A su vez, las contradicciones internas que aparecen durante su desarrollo impulsan condiciones nuevas que modifican y cambian gradualmente, o de tajo, al fenómeno en sí, dejando, por este hecho, de tener las particularidades que lo hacían desarrollarse de un modo determinado, y creando nuevas formas de manifestarse en el ámbito que, de lo real, corresponde a lo social. Lo an

terior implica irreversibilidad tanto en lo temporal, como en lo cualitativo y cuantitativo que caracteriza al fenómeno social, tal como se analizó en el cuerpo capitular de este trabajo.

- b) Todo movimiento lleva en su seno irreversibilidad y desequilibrio; éste, como se ha visto, es la ruptura que hay entre el fenómeno y el medio externo e interno en el cual se desarrolla, e implica desajustes en los estabilizadores a causa de perturbaciones surgidas en el propio medio o en los mismos elementos de estabilización. El desequilibrio y las perturbaciones que lo engendran dependen, en su naturaleza, de la naturaleza del fenómeno y el medio en el que se desenvuelve. A diferentes fenómenos diferentes clases de desequilibrios. De este modo, conforme se va complejizando la materia se complejizan las perturbaciones, los estabilizadores para mantener bajo ciertos parámetros al fenómeno y los desequilibrios resultantes. Estos últimos conllevan alteraciones en el propio medio ambiente del fenómeno, así como en medios asociados; de esta forma, alteraciones en el aspecto físico pueden implicar alteraciones químicas y viceversa; alteraciones en el plano material biológico, conjugan alteraciones químicas, físicas, etc y alteraciones en el aspecto psicológico individual, en estadios más evolucionados de la materia, o a nivel social, implican cambios, alteraciones, en los niveles biológicos, químicos, etc.,

independientemente de los desequilibrios en la forma material -
respectiva. Así, se puede observar la asociación que existe en -
la materia en sus variados contextos o representaciones, y donde
un desequilibrio en el medio propio o asociado revierte en dese-
quilibrios en cadena en las otras formas existenciales del fenómeno
no, para lo cual éste estructura hasta cierto límite compensado -
res a las perturbaciones en forma tal que le permita seguirse -
desarrollando como su cadena de "herencias" lo han conformado.
Pasado el límite, el fenómeno deviene en otro, que conserva ciertas
características transmitidas por su antecesor, o bien con ca-
racterísticas propias sin ningún hilo aparente de correspondencia.
Sin embargo, la materia es un conjunto de relaciones concatena-
das, donde una variación en una parte, ocasiona variaciones en el
todo y de ahí el enlace entre el todo y las partes y sus cambios -
mutuos.

En la esfera social, considerando a ésta como la forma más evo-
lucionada de la materia, los desequilibrios tienen enlaces y for-
mas de manifestarse que influyen en otros ámbitos de expresión
material, por ejemplo, el medio ecológico en el cual se desarro-
llan las sociedades humanas. Así también, el fenómeno social -
involucra desequilibrios y cambios en su propio seno, de los cuales
los que conciernen al aspecto económico toman un carácter -
fundamental. Así se ha querido expresar esto como finalidad en el prere

sente trabajo, viendo las variaciones que el proceso de acumulación y reproducción del capital guardan en el desarrollo de las formaciones sociales capitalistas y los parámetros bajo - los cuales éstas se cuasiequilibrán y conservan sus especificidades, o las rompen y se estructuran como otras formaciones sociales. El análisis de la ganancia y su expresión histórica de existencia ha coadyuvado a comprender el rango de variabilidad o desequilibrio que esta categoría implica, las normas a las que debe sujetarse para existir como tal y, por ende, la serie de transformadores y equilibradores que económicamente la conservan como tal y permiten su reproducción, así - como los factores que la frenan y alteran su esencia o la cambian completamente y lo que esto implica económica y socialmente, es decir, lo que corresponde a su grado de variabilidad, de ruptura y de cambio; de pérdida de equilibradores y - ganancia de desequilibradores; de perturbaciones que la transforman ante la no posibilidad de hacerles frente y su correspondencia en este sentido con otro tipo de fenómenos, lo cual vivifica las categorías empleadas en esta tesis.

Por tanto, el desequilibrio se ha significado en esta investigación como una categoría que ampliándola y conociéndola en su interrelación con otros fenómenos, posibilita el conocimiento - de existencia de los mismos; sus perturbaciones y las formas

en que aquellos responden para conservar sus modos de acción, sus trayectorias y su especificidad material. En el campo de lo social ha sido rica para comprender estos aspectos y desarrollarlos, tal como se desprende de los capítulos que conforman este trabajo, de los cuales se han podido analizar las perturbaciones, sus causas y efectos en el modo de producción capitalista; sus estabilizadores; sus modos de acción; sus trayectorias, y las rupturas que son efecto de su movimiento e intervienen en la conformación de modos de producción y formaciones sociales diferentes, aunque esencialmente, en su contenido, sean similares. Esta ha sido la forma de abstracción para este trabajo y en función de ella se ha enriquecido el análisis y se han emitido juicios tal vez discordantes a como se conciben en la teoría económica, pero congruentes con la forma lógica de correlacionar fenómenos, o sea, la analogía.

- c) Es en función al desequilibrio y a la irreversibilidad como se ha podido conformar, en su interrelación, la entropía para los fenómenos sociales. En efecto: los aspectos sociales guardan situaciones irreversibles producto de su movimiento y de los desequilibrios que se generan en él, y es a través de estas categorías como se posibilita explicar el grado de desequilibrio existente en los mismos.

La entropía, como se pudo percibir a lo largo de la exposición, es una categoría que en su esencia permite captar el grado de desequilibrio, de irreversibilidad, que un fenómeno posee en una etapa determinada de su desarrollo. Despojada de su expresión puramente física, tiene aplicación, conforme a lo que significa su contenido, en la variada gama de procesos reales. De esta forma, como se ha visto, es posible hablar de entropía en química, en biología, en psicología y en economía. En los procesos reales ligados a esta última disciplina científica, la entropía adquiere cualitativamente formas de expresión acordes al nivel más elevado de estructura de la materia. Así, en el proceso económico como forma superior de relación entre los hombres la entropía adquiere, por su contenido, el grado de desequilibrio en los procesos de producción y distribución en tanto que actividades humanas históricamente determinadas; su expresión es la probabilidad de que un proceso económico mantenga su trayectoria, condicionado históricamente, a partir de las determinaciones económicas particulares que conforman el contenido de ese proceso económico; es decir, de los procesos de producción y de distribución.

A nivel de la acumulación y de la reproducción de capital para las

Formaciones Sociales Capitalistas, tal como se desprende del Capítulo IV, es de preverse que contengan una entropía elevada, o sea un grado de desequilibrio elevado, condicionado por la concatenación de contradicciones inherentes al sistema capitalista, encuadradas en la contradicción principal: un desequilibrio cada vez más amplio entre las fuerzas productivas y las relaciones sociales de producción, lo que desde la instancia económica lleva implícito a la crisis de producción como constante del sistema.

Pudiendo expresar probabilísticamente los desequilibrios de las diversas redes de acoplamientos para los sistemas bajo los cuales se representa el todo y las partes del sistema capitalista y las formaciones sociales que lo integran, es posible hablar de campo entrópico social, concepto que respeta las leyes y categorías propias de la dialéctica materialista de la historia, que adquieren su especificidad, su concreción particular, conforme al campo de lo social en el cual se apliquen o el tipo de movimiento social que expliquen, sea éste económico, político, psicológico, etc. Así, la noción de campo entrópico social es referido a la generalidad social; al entorno que ocupa lo social dentro de la realidad. De ahí, si la forma más general en la cual se expresa lo social

es en la categoría de formación social, es en ésta donde se ubica al campo entrópico social. Asimismo, si la parte del ser social a estudiar son las relaciones sociales de producción, el campo entrópico social se particulariza a esa parte del ser social. De igual modo, si la parte a analizar del ser social es la reproducción ampliada y la acumulación implícita en la misma, el campo entrópico social se particulariza a la expresión de los desequilibrios en la reproducción ampliada, los que son producto de factores específicos de acuerdo al modo de producción de que se trate, pero pueden ser considerados correlativamente desde el punto de vista de la entropía.

- d) Otro factor importante que se desprende del estudio realizado es la noción de sistema antienergético, considerado como aquel proceso real que tiende a alejarse acumulativamente de la función de dirección o norma (los parámetros bajo los cuales se efectúa el desarrollo de un fenómeno, o bien, la trayectoria que sigue un fenómeno en su movimiento, implicando esto, la acción de reguladores que permitan estabilizarlo ante perturbaciones internas o externas) al presentarse perturbaciones en el medio interno o externo en el que se desarrolla. En una formación social, el carácter antienergético que reviste proviene de la amalgama de perturbaciones y desequilibrios que se dan en las relaciones de estructura y superestructura de los

diversos modos de producción que la componen. Es por esta causa que la formación social en su movimiento, considerada como sistema, tiene que hacer continuas adaptaciones a sus reguladores, precisamente por las diferentes contradicciones que se producen en los acoplamientos intra e intermodos de producción a nivel de base y superestructura, desviándola de la norma que pudiera trazarse como estabilizadora.

Las formaciones sociales previas a la implantación del modo de producción capitalista, poseían sus propios sistemas de regulación y sus transformadores ante perturbaciones internas que afectaron su cuasiequilibrio; pero llevaban en su seno contradicciones propias (no correspondencia entre fuerzas productivas y relaciones de producción) que las hacían anti-ergódicas y, ante perturbaciones externas, como fue el desarrollo del capitalismo a nivel mundial, se rompieron los reguladores a nivel de fuerzas productivas, estructura y superestructura, creándose nuevos tipos de formaciones sociales capitalistas con diferencias cualitativas según los acoplamientos entre los modos de producción que coexistían en ellas.

Como se tocó en el Capítulo IV, la acumulación y reproducción de capital puede representarse como un proceso antiergo

dico. Las contradicciones propias del capitalismo inducen a éste a una inestabilidad progresiva expresada en la finalidad del sistema: la ganancia, que crea anarquía en la producción, competencia oligopólica y crisis periódicas cada vez más amplias, a lo cual el sistema tiene que responder con reguladores más sofisticados y transformadores más elaborados, para "sujetarse" dentro de ciertos parámetros de existencia. Todo el desarrollo de esta conclusión, así como el esbozo de un modelo por el cual se exprese la entropía a nivel de formación social, modo de producción y acumulación y reproducción ampliada, se encuentra en el capítulo citado líneas arriba, por lo que éste constituye propiamente, como se ha expresado en la Introducción, la conclusión de esta tesis.

Queda, como conclusión final, mencionar la renovación que experimenta el ser social en el decurso de su movimiento. En efecto: concebido éste como el conjunto de determinaciones materiales y sociales que, concatenadas, expresan lo social a través de leyes y categorías específicas, y considerando que estas últimas son su representación en un contexto dinámico, resulta entonces de su análisis que, como un todo, el ser social ha manifestado históricamente cambios en su

calidad y en su cantidad, producto de las múltiples contradicciones internas a que se ha sujetado. Lo anterior genera - históricamente la sustitución de lo nuevo por lo viejo; la negación de la negación y surgimiento de un ser social dotado de con tradiciones, contenidos y formas nuevas. Considerado como partes, el ser social implica un proceso similar de desarrollo y devenir, y un vínculo con el todo de tal forma que interactúan modificándolo, a la vez que son modificadas por él. Pudiera representarse esto, toscamente, como un conjunto de reguladores que el ser social utiliza para hacer frente a perturbaciones y desequilibrios, producto de sus contradicciones internas, que lo alejan de su función de dirección. El cambio o la ruptura en sus trayectorias y la adopción de nuevas, con nuevos reguladores ante contradicciones que generan perturbaciones diferentes, son la manifestación del ser nuevo, - vivo, que surge de lo viejo, de lo que está muriendo y es incapaz de sostener un ritmo de desarrollo creciente. Sin embargo, el nuevo ser tendrá un lapso de vida y deberá perecer para dar paso, a su vez, a otro mejor dotado para hacer - frente a las perturbaciones heredadas, superándolas, y nuevas, propias de sus contradicciones particulares, que surgirán en las partes que lo constituyen, en el todo, y en su interconexión.

B I B L I O G R A F I A

1. Academia de Ciencias de la U R S S.
"Fundamentos de Filosofía Marxista-Leninista"
Editorial Progreso, Moscú, 1975.
2. Amin Samir.
"Categorías y Leyes Fundamentales del Capitalismo"
Editorial Nuestro Tiempo, México, 1975.
3. Bagú, Sergio.
"Marx-Engels: Diez Conceptos Fundamentales en Proyección
Histórica".
Editorial Nuestro Tiempo, México, 1975.
4. Baran, Paul A.
"La Economía Política del Crecimiento"
Editorial F.C.E., México, 1973.
5. Baran, Paul A. y Sweezy, Paul M.
"El Capital Monopolista"
Siglo Veintiuno Editores., México, 1971.
6. Barrow, G.M.
"Química Física"
Editorial Reverte, Barcelona, 1972.
7. Benetti Carlo.
"La Acumulación en los Países Capitalistas Subdesarrollados"
Editorial F.C.E., México, 1976.
8. Castellan, G.W.
"Fisicoquímica"
Editorial Fondo Educativo Interamericano, S.A. México, 1974.

9. Crosson, F. J., y Sayre, K. M.
"Filosofía y Cibernética"
Editorial F. C. E., México, 1971.
10. De Gortari, Elí.
"Introducción a la Lógica Dialéctica"
Editorial F. C. E., México, 1959.
11. De Gortari, Elí.
"El Método Dialéctico"
Editorial Grijalbo, S. A., México, 1970.
12. Engels, Federico.
"Dialéctica de la Naturaleza"
Editorial Juan Grijalbo, México, 1967.
13. R.P.H. Gasser y W.G. Richards.
"Entropía y Niveles Energéticos"
Serie Oxford de Química.
Editorial El Manual Moderno, S. A., 1977.
14. Gordon P.
"Cadenas Finitas de Markov y sus Aplicaciones"
Editorial Hispano-Europea, Colección ESADF, Madrid, 1967.
15. Gorski, D. P.; Tavants, P. V.
"Lógica"
Editorial Juan Grijalbo, México, 1968.
16. Greniewski, H.
"Cibernética sin Matemáticas"
Editorial F. C. E., Breviarios; México, 1965.

17. Harnecker, Martha.
"Los Conceptos Elementales del Materialismo Histórico"
Editorial Siglo Veintiuno Editores, México, 1974.
18. Kalecki, Michal
"Estudios sobre la Teoría de los Ciclos Económicos"
Ediciones Ariel, Colección DEMOS: Caracas-Barcelona, 1972.
19. Katz, Daniel y Kahn, Robert L.
"Psicología Social de las Organizaciones"
Editorial Trillas, México, 1977.
20. Kelle, V.; Kovalzon, M.
"Materialismo Histórico: Ensayo sobre la Teoría Marxista de la Sociedad"
Editorial Progreso, Moscú, 1972.
21. Kirilin V. A.; Sichev V. V.; Sheindlin A. E.
"Termodinámica Técnica"
Editorial MIR, Moscú, 1976.
22. Lange, Oskar.
"Teoría de la Reproducción y de la Acumulación"
Ediciones Ariel; Colección DEMOS, Caracas-Barcelona, 1970.
23. Lange, Oskar.
"Los Todos y las Partes; Una Teoría General de Conducta de Sistemas"
Editorial F.C.E., México, 1975.
24. Lange, Oskar.
"Ensayos sobre Planificación Económica"
Ediciones Ariel, Caracas-Barcelona, 1970.

25. Lange, Oskar.
"Introducción a la Economía Cibernética"
Siglo Veintiuno Editores, S. A., Argentina, 1969.
26. Lange, Oskar.
"Economía Política"
Editorial F.C.E., México, 1969.
27. Lange, Oskar.
"Introducción a la Econometría"
Editorial F.C.E., México, 1975.
28. Lenin, V. I.
"Obras Escogidas"
Editorial Progreso, Moscú, 1961.
29. Lenin, V. I.
"Materialismo y Empiriocriticismo"
Editorial Progreso, Moscú, 1965.
30. Leyva Astudillo, José L.
"Economía y Cibernética: Reflexiones en Torno a la Cuestión
Metodológica en Economía"
Tesis Profesional.
UNAM; ENE, 1974.
31. Luxemburgo, Rosa.
"La Acumulación del Capital"
Editorial Juan Grijalbo, México, 1967.
32. Mandel Ernest.
"Tratado de Economía Marxista"
Ediciones ERA, México, 1972.

33. Marx, Carlos.
"Crítica de la Economía Política"
Editora Nacional, México, 1969.
34. Marx, Carlos.
"El Capital. Crítica de la Economía Política"
Editorial F.C.E., México, 1968.
35. Marx, Carlos.
"Fundamentos de la Crítica de la Economía Política"
Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, 1970.
36. Marx, Carlos.
"Formas de Propiedad Precapitalista"
Ediciones de Cultura Popular, México, 1977.
37. Marx, Carlos.
"El Método en Economía Política"
Editorial Grijalbo, S. A., Colección 70, Núm. 100, México, 1971.
38. Merani, A. L.
"La Dialéctica en Psicología"
Editorial Grijalbo, Colección 70, Núm. 21, México, 1973.
39. Optner, Stanford L.
"Análisis de Sistemas" (Selección de diversos Autores).
Editorial F.C.E., México, 1978.
40. Pierce, James B.
"Química de la Materia"
Publicaciones Cultural, S. A., México, 1978.

41. Roll, Eric.
"Historia de las Doctrinas Económicas"
Editorial F.C.E., México, 1969.
42. Rosental, M. y Straks, G. M.
"Categorías del Materialismo Dialéctico"
Editorial Grijalbo, S. A., México, 1965.
43. Rosental, M. M.
"Lenin y la Dialéctica"
Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo, 1965.
44. Ross, W. Ashby.
"Introducción a la Cibernética"
Ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1977.
45. Spiridonova, Atlas y Otros.
"Curso Superior de Economía Política"
Editorial Juan Grijalbo, S. A., México, 1965.
46. Spirkin, A. G.
"Materialismo Dialéctico y Lógica Dialéctica"
Editorial Grijalbo, S. A., Colección 70, Núm. 53, México, 1969.
47. Sweezy, Paul M.
"Teoría del Desarrollo Capitalista"
Editorial F.C.E., México, 1970.
48. Sluckin, Wladislaw.
"La Cibernética. (Cerebros y Máquinas)"
Ediciones Nueva Visión, Buenos Aires, 1971.

49. Yajot, O.
"Qué es el Materialismo Dialéctico?"
Ediciones de Cultura Popular, S. A., México, 1974.

A) SISTEMAS.

a) Introducción.

Uno de los temas clave del materialismo dialéctico trata acerca del todo y de la naturaleza de los procesos dialécticos del desarrollo. El materialismo dialéctico afirma la existencia de sistemas materiales cuyos elementos están ligados por una cadena de relaciones de causa y efecto. Tales sistemas poseen atributos distintos a los de sus elementos constituyentes, y tienen también sus propios modos de acción, los cuales no se derivan solamente de los de dichos elementos. Se llamarán "todos" a tales sistemas. Ejemplos de todos de este tipo son los compuestos químicos en comparación con los agregados físicos de elementos, la materia viva en comparación con sistemas fisicoquímicos, los organismos animales en comparación con células individuales de materia viva, los procesos físicos en comparación con las propiedades biológicas de un organismo y, por último, las sociedades humanas o, para ser más precisos, las varias formaciones sociales históricas en comparación con las propiedades biofísicas y los modos de conducta del organismo humano.

Según la teoría del materialismo dialéctico, la existencia de tales todos está relacionada con la naturaleza dialéctica de los procesos de desarrollo. En un sistema que constituye un todo aparecen contradicciones que impiden al sistema permanecer en estado inmutable. Las contradicciones del sistema inducen cambios que llevan a un reajuste que hace que las contradicciones desaparezcan. Pero estos mismos cambios abren el camino a nuevas contradicciones, las cuales a su vez, inducen nuevos cambios, etc. Como resultado, los todos nunca pueden permanecer en estado inmutable: deben cambiar constantemente. Los cambios, sin embargo, muestran una dirección definida; en otras palabras: representan un proceso de desarrollo. En el curso del desarrollo los todos individuales se combinan en sistemas más complejos, en todos de orden mayor, los cuales exhiben nuevas propiedades y nuevos modos de acción que hasta ese momento no existían. De este modo, aparecen nuevas propiedades (nuevas "cualidades") y nuevos modos de acción (nuevas leyes de conducta) en el curso del desarrollo dialéctico.

b) Elemento Activo.

Por elemento activo E se entiende 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.

Otra manera de expresar los supuestos 1 y 2 es mediante la afirmación de que el elemento E se encuentra "relativamente aislado". Esto significa que el contacto del elemento con el medio se lleva a cabo solamente por intermedio de las entradas y salidas de dicho elemento. No hay otros "canales" de contacto. La suposición 3 excluye elementos sin entradas y salidas, esto es, monadas. También excluye elementos con entradas o con salidas solamente; en otras palabras, elementos únicamente pasivos y elementos únicamente activos, por así decirlo. A través de sus entradas cada elemento "recibe" la acción del medio y a través de sus salidas "transmite" acción a éste.

El supuesto 4 establece la relación única entre los estados de entrada y salida. Esta relación será denominada modo de acción del elemento E.

Supóngase que las entradas y salidas del elemento E son finitas en número. Denótese con m el número de entradas y con n el número de salidas. Tanto m como n son números naturales. En virtud del supuesto 3, $m \geq 1$ y $n \geq 1$. La diferencia será denominada

$$\mathcal{J} = n - m \quad (\text{b.1})$$

da la diversificación del elemento E. Obviamente, \mathcal{J} es un número entero. Puede suceder, sin embargo, que $\mathcal{J} > 0$, $\mathcal{J} < 0$ ó $\mathcal{J} = 0$.

Los estados de entrada y salida del elemento E pueden ser representados por números. Se denota el estado con 1 cuando aparece el atributo y 0 cuando no aparece. Si el estado de entrada o salida tiene el carácter de una variable discreta (por ejemplo, el número de moscas en un frasco, la fracción de varones dentro de

los nacimientos que ocurren en una familia), se denota el estado con un número racional que sirve como medida de tal magnitud. Si, finalmente, el estado de entrada o salida es una magnitud de variación continua (por ejemplo, temperatura, peso, altura), se denota este estado con un número real.

De esta manera, pueden asignarse números a las entradas para expresar sus estados individuales. Estos números forman un vector:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (b.2)$$

el cual representa el estado de las entradas. Esto será llamado vector de entrada y los números x_1, x_2, \dots, x_m constituyen sus componentes.

De manera semejante, a los estados de salida individuales se les asignarán números. Estos son los componentes del vector de salida.

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \quad (b.3)$$

La relación entre los estados de entrada y los de salida (dicho de otra forma, el modo de acción del elemento E puede ser expresada matemáticamente como una transformación del vector x en el vector y. Simbólicamente se denota esta transformación como.

$$y = T(x) \quad (b.4)$$

El conjunto de valores admisibles del vector x es denominado dominio de la transformación: el conjunto de valores admisibles del vector y es denominado campo de la transformación. El símbolo T es llamado operador de transformación: expresa la regla de acuerdo a la cual el vector x es transformado en el vector y.

Esta regla puede ser expresada por medio de una matriz. Para este propósito, se denota por Δx_j el cambio en el valor de la componente j del vector x y por Δy_i el cambio en el valor de la componente i del vector y.

La razón

$$a_{ij} = \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_j} \right)_{\Delta x_k} = 0 \text{ para } k \neq j \quad \left(\begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, m \end{array} \right) \quad (b.5)$$

es una medida del efecto parcial de un cambio en la componente j del vector x sobre la i componente del vector y. Se le denominará coeficiente del efecto parcial.

Los coeficientes de efecto parcial forman una matriz de n renglones y m columnas, la cual se denota por A. Se tiene entonces.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

(b. 6)

Se denominará a ésta, matriz de transformación.

Con ayuda de la matriz de transformación la regla para transformar el vector x en el vector y puede ser expresada en forma de la ecuación vectorial:

$$\Delta y = A \Delta x \quad (b. 7)$$

donde Δx y Δy son vectores, a saber, $\Delta x = (\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_m)$ y $\Delta y = (\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n)$.

La expresión de la regla de transformación así presentada será denominada forma diferencial de esta regla. Si los coeficientes del efecto parcial a_{ij} son constantes, se obtiene la forma integral de la regla de transformación:

$$y = Ax \quad (b. 8)$$

La forma diferencial muestra la relación entre los cambios en el vector x y los cambios en el vector y . La forma integral muestra la relación entre los valores de los vectores x y y . Cuando los coeficientes a_{ij} son constantes, se dice que la transformación es lineal. Si los coeficientes a_{ij} no son constantes, entonces son funciones del vector x . La matriz de transformación A es entonces una matriz funcional. Si el vector x es una variable continua, entonces son ecuaciones diferenciales o bien en diferencias, que se expresan en la ecuación vectorial:

$$y = f(x) \quad (b. 9)$$

La transformación del vector x en el vector y permite que el estado de las salidas del elemento E sea determinado a partir del estado de las entradas. A veces es posible realizar la transformación inversa:

$$x = T^{-1}(y) \quad (b. 10)$$

que permite extraer conclusiones en relación con el estado de las entradas del elemento E , derivadas del estado de sus salidas. Ejemplos de tal transformación inversa son el diagnóstico médico de las causas de una enfermedad con base en sus síntomas, o también el descifrar un mensaje en clave.

Si la transformación inversa es posible, la regla de transformación se expresa así:

$$x = A^{-1} y \quad (\text{b.11})$$

para el caso de una transformación lineal, y:

$$x = f^{-1}(y) \quad (\text{b.12})$$

para el caso general. Aquí, A^{-1} es la inversa de la matriz A y $f^{-1}(y)$ es la función vectorial inversa de la función vectorial $f(x)$.

c) El acoplamiento de elementos activos.

Sean E_1 y E_2 dos elementos activos; $x^{(1)}$ y $x^{(2)}$ sus vectores de entrada, y $y^{(1)}$ y $y^{(2)}$ sus vectores de salida. El elemento E_1 -- puede actuar sobre el elemento E_2 solamente de manera tal que E_2 "reciba" como entradas el estado de (todas o algunas) las salidas de E_1 .

Si se denotan las componentes del vector $y^{(1)}$ por $y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots, y_n^{(1)}$ y las componentes del vector $x^{(2)}$ por $x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_m^{(2)}$ puede escribirse:

$$x_j^{(2)} = y_i^{(1)} \quad (\text{c.1})$$

Cuando las componentes del vector de salida del elemento E_1 son transformadas de este modo en componentes del vector de entrada del elemento E_2 , se dice que las dos componentes están acopladas.

Si se introduce una matriz cuadrada, denotada por C_{12} , consistente en m o n renglones o columnas, según que $m \geq n$ o $n \geq m$, en la que los elementos de la matriz valen 1 para todos los i y j para los cuales se satisface la ecuación (c.1) y valen 0 para todos los i y j para los cuales la ecuación no se satisface, la matriz C_{12} será denominada matriz de acoplamiento del elemento E_1 con el elemento E_2 .

Mediante la matriz de acoplamiento, la ecuación (c.1) puede reescribirse en la forma

$$x^{(2)} = C_{12} y^{(1)};$$

$$C_{12} \begin{bmatrix} 000\dots 1 \\ 100\dots 0 \\ 001\dots 0 \\ \dots\dots\dots \\ 000\dots 0 \end{bmatrix} \quad (\text{c.2})$$

es decir, en forma de ecuación vectorial.

Si todos los elementos están acoplados en pares, se dice entonces que hay una cadena de acoplamientos.

Conviene hacer distinción entre cadenas de acoplamiento abiertas y cadenas cerradas, denominadas también loops abiertos y cerrados. En una cadena cerrada (loop cerrado) algunos elementos activos están acoplados con elementos precedentes en la cadena. Tal enlace con un elemento precedente en la cadena de acoplamientos es conocido como retroalimentación. Una característica de una cadena cerrada de acoplamientos consiste en que tiene retroalimentación entre sus eslabones.

Una cadena que no tiene retroalimentación entre sus eslabones, se dice que es abierta (loop abierto).

Un elemento activo puede estar acoplado con más de uno de los otros elementos activos, o bien a un elemento dado puede estar acoplado más de un elemento. Se dice entonces que los acoplamientos se encuentran ramificados.

En un conjunto que contenga un gran número de elementos activos acoplados, puede haber muchos arreglos diferentes de acoplamientos: cadenas abiertas y cerradas (loops) y todo tipo de ramificaciones. El conjunto de tales combinaciones de arreglos recibe el nombre de red de acoplamientos. Una red de acoplamientos puede ser expresada como un conjunto de ecuaciones vectoriales. Puede ser representada también gráficamente.

d) El sistema de elementos activos y su estructura.

Un conjunto de elementos activos acoplados recibe el nombre de sistema de elementos activos, o brevemente, sistema. Cada elemento de un sistema está acoplado cuando menos con uno de los otros elementos del sistema, o al menos uno de los otros elementos del sistema está asociado con el elemento dado. En un sistema no hay, por lo tanto, elementos aislados, esto es, elementos que no están acoplados con cualquier otro elemento ni tienen otro elemento acoplado con ellos.

Esta red de acoplamientos entre elementos de un sistema recibe el nombre de estructura del sistema. Si un elemento E_r está asociado al elemento E_s , la ecuación vectorial:

$$x^{(s)} = C_{rs} y^{(r)} \quad (d.1)$$

se satisface. En esta ecuación C_{rs} es la matriz de acoplamiento.

1 / En términos generales, un "sistema" es considerado como un conjunto de elementos junto con el conjunto de relaciones entre ellos. El conjunto de tales relaciones (y de sus transformaciones isomórficas) es denominado estructura del sistema.

Esta matriz se generalizará para todos los elementos E_r y E_s independientemente de que E_r esté acoplado con E_s o no. Esto se logra escribiendo, para el caso en que E_r no esté acoplado a E_s .

$$C_{rs} = 0 \quad (d.2)$$

En otras palabras, se define en este caso la matriz de acoplamiento como una matriz cero (es decir, aquella en la que todos los elementos son cero). En este caso, cuando el elemento activo E_r no está acoplado con el elemento activo E_s , la ecuación vectorial (d.1) toma la forma

$$0 = C_{rs}y^{(r)} \quad (d.3)$$

Una vez generalizada la matriz de acoplamiento C_{rs} de esta manera, puede escribirse ahora la ecuación vectorial (d.1) para cada par de elementos E_r y E_s , sin importar si E_r está acoplado a E_s , o no.

Por definición, el elemento activo está acoplado a otros elementos activos. Ningún elemento está acoplado a sí mismo.

Las matrices de acoplamiento, así generalizadas, forman juntas una matriz cuadrada con N renglones y N columnas.

Por ejemplo,

$$S = \begin{bmatrix} 0 & C_{12} & \dots & C_{1N} \\ C_{21} & 0 & \dots & C_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{N1} & C_{N2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (d.4)$$

Esta matriz, será denominada matriz estructural del sistema, en virtud de que representa la estructura de éste, es decir, la red de acoplamientos de los elementos del sistema.

e) Sistemas de orden mayor

Considérense dos sistemas de elementos activos denotados por U_1 y U_2 . Supóngase ahora que el sistema U_1 contiene N_1 elementos designados por E_1, E_2, \dots, E_{N_1} , y que el sistema U_2 contiene N_2 elementos denotados por $E_{N_1+1}, E_{N_1+2}, \dots, E_{N_1+N_2}$.

Si ningún elemento del sistema U_1 está acoplado con elementos del sistema U_2 , ni ningún elemento del sistema U_2 con aquellos del sistema U_1 , se dice que estos dos sistemas son independientes. Si, por otro lado, cuando menos un elemento del sistema U_1 está acoplado al menos con un elemento del sistema U_2 , o cuando menos un elemento del sistema U_2 está acoplado al menos con un elemento del sistema U_1 , ambos sistemas forman un nuevo sistema el cual se denota por U' . Tal sistema, formado a través del acoplamiento de elementos de dos o más sistemas, recibirá el nombre de sistema de segundo orden.

La matriz estructural del sistema U' - que será designada por S' - es:

$S' =$

$$\begin{bmatrix}
 0 & C_{12} & \dots & C_{1N_1} & \vdots & C_{1, N_1+1} & C_{1, N_1+2} & \dots & C_{1, N_1+N_2} \\
 C_{21} & 0 & \dots & C_{2N_1} & \vdots & C_{2, N_1+1} & C_{2, N_1+2} & \dots & C_{2, N_1+N_2} \\
 \dots & \dots \\
 C_{N_1}^1 & C_{N_1}^2 & \dots & 0 & \vdots & C_{N_1, N_1+1} & C_{N_1, N_1+2} & \dots & C_{N_1, N_1+N_2} \\
 \dots & \dots \\
 C_{N_1+1, 1} & C_{N_1+1, 2} & \dots & C_{N_1+1, N_1} & \vdots & 0 & C_{N_1+1, N_1+2} & \dots & C_{N_1+1, N_1+N_2} \\
 C_{N_1+2, 1} & C_{N_1+2, 2} & \dots & C_{N_1+2, N_1} & \vdots & C_{N_1+2, N_1+1} & 0 & \dots & C_{N_1+2, N_1+N_2} \\
 \dots & \dots \\
 C_{N_1+N_2, 1} & C_{N_1+N_2, 2} & \dots & C_{N_1+N_2, N_1} & \vdots & C_{N_1+N_2, N_1+1} & C_{N_1+N_2, N_1+2} & \dots & 0
 \end{bmatrix}$$

(e. 1)

Como puede observarse, la matriz S' puede ser considerada como una que consiste de cuatro submatrices, las cuales, a su vez, -- consisten de submatrices C_{rs} que representan los acoplamientos de los elementos en el sistema U' . Estas cuatro submatrices se rán denotadas por S_{11} , S_{12} , S_{21} y S_{22} de modo que la matriz S' pueda ser expresada en la forma:

$$S' = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (e. 2)$$

La submatriz S_{11} es la matriz estructural del sistema U_1 y la submatriz S_{22} es la matriz estructural del sistema U_2 . La submatriz S_{12} representa los acoplamientos de elementos del sistema U_1 con elementos del sistema U_2 . La submatriz S_{21} , por otra parte, expresa los acoplamientos de elementos del sistema U_2 -- con los del sistema U_1 ; en otras palabras, las retroalimentaciones de los elementos de los dos sistemas.

Mediante el acoplamiento de elementos de dos o más sistemas de segundo orden, U_1 , U_2 , U_3 , etc., se obtiene un sistema de tercer orden. Se denota su matriz estructural por S'' . Si, por ejemplo, un sistema U' de tercer orden consiste de dos sistemas de segundo orden, su matriz estructural puede ser representada en la forma

$$S'' = \begin{bmatrix} S'_{11} & S'_{12} \\ S'_{21} & S'_{22} \end{bmatrix} \quad (e. 3)$$

En esta fórmula, las submatrices S'_{11} y S'_{22} son las matrices estructurales de los sistemas U'_1 y U'_2 ; la submatriz S'_{12} representa el acoplamiento de elementos del sistema U'_1 con elementos del sistema U'_2 , y la submatriz S'_{21} expresa los acoplamientos de elementos del sistema U'_2 con elementos del sistema U'_1 .

f) El modo de acción de un sistema

En un sistema que contiene N elementos activos, las entradas y salidas de estos elementos satisfacen las ecuaciones vectoriales.

$$x_r^{(s)} = C_{rs} y_r^{(r)} \quad (r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s) \quad (f. 1)$$

Estas ecuaciones representan los acoplamientos de los elementos.

El subíndice r en el miembro izquierdo indica que $x_r^{(s)}$ es el estado de las entradas de E_s debido a su acoplamiento con E_r .

Cada elemento del sistema posee un modo definido de acción expresado matemáticamente por la transformación (b. 4) Si T_r denota la transformación que expresa el modo de acción del elemento

E_r , se tienen N de tales transformaciones:

$$y_r^{(s)} = C_{rs} T_r(x^{(r)}) \quad (r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s). \quad (f. 3)$$

Si se escribe

$$R_{rs} = C_{rs} T_r, \quad (f. 4)$$

es posible presentar estas transformaciones simbólicamente por -

$$x_r^{(s)} = R_{rs}(x^{(r)}) \quad (r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s) \quad (f. 5)$$

Al sujetar las ecuaciones vectoriales (f. 1) a las transformaciones (f. 5) se obtiene:

$$T_s(x_r^{(s)}) = T_s C_{rs} (y^{(r)}),$$

y en consecuencia

$$y_r^{(s)} = T_s C_{rs} (y^{(r)}) \quad (r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s) \quad (f. 6)$$

De esta manera se obtiene de nuevo $N(N - 1)$ transformaciones.

Escribiendo

$$P_{rs} = T_s C_{rs} \quad (f. 7)$$

se puede expresar estas transformaciones simbólicamente en la forma

$$y_r^{(s)} = P_{rs} (y^{(r)}) \quad (r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s) \quad (f. 8)$$

El conjunto de transformaciones (f. 5) sustituye por nuevos valores de los vectores de entrada de los elementos del sistema los valores iniciales dados de estos vectores. De modo semejante, el conjunto de transformaciones (f. 8) hace otro tanto con los valores iniciales dados de los factores de salida de los elementos del sistema. Los conjuntos de transformaciones (f. 5) y (f. 8) expresan, como se dijo, el modo de acción del sistema. Ellos indican la manera como un conjunto dado de estados de las entradas y salidas de los elementos de un sistema se transforma en un nuevo conjunto de estados de esas entradas y salidas.

Se introduce ahora el vector de estados de entrada del sistema como un vector compuesto, cuyos componentes son los vectores de entrada de los elementos pertenecientes al sistema. Si se denota este vector por X , se tiene:

$$X = (x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(N)}). \quad (f. 9)$$

De manera similar, se introduce el vector compuesto de estados de salida del sistema. Si se denota este vector por Y , entonces -

$$Y = (y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(N)}) \quad (f. 10)$$

El modo de acción del sistema depende tanto de los modos de acción de los elementos, como de la matriz estructural S del sistema. Para poder determinar el modo de acción del sistema no es suficiente conocer los modos de acción de los elementos, sino que es necesario conocer también la matriz estructural S del sistema, la cual representa la red de acoplamientos de los elementos.

Por todo esto, un sistema de elementos activos está dotado de sus propios modos de acción específicos, que constituyen "una ley de movimiento" dada por la transformación de los estados de entrada y salida de los elementos. Este modo de acción es una característica del sistema considerado como un todo, en tanto que depende no sólo del modo de acción de los elementos individuales sino también de la estructura del sistema, es decir, de la red de acoplamiento de los elementos.

Es la estructura representada por la matriz S lo que da al sistema la cualidad de un todo. Los mismos elementos con modos de acción iguales, pero acoplados de manera distinta constituyen un sistema diferente con un modo diferente de acción del sistema.

En lenguaje matemático: con una misma matriz T de modos de acción de los elementos, el modo de acción se toma diferente si existe una matriz estructural S diferente del sistema. Una diferencia en la estructura implica una diferencia en el modo de acción del sistema.

Los sistemas de orden mayor pueden tener también propiedades nuevas - sus modos de acción propios - que dependen no solamente del modo de acción de los sistemas de primer orden que forman el sistema de orden superior. Esta característica se expresa en las matrices S_{12} y S_{21} y en las matrices similares que aparecen en (e. 2).

De esta manera se proporciona una explicación a la cuestión de los todos con modos de acción que no pueden ser derivados de los modos específicos de acción de los elementos individuales.

Tales todos son simplemente conjuntos de elementos activos acoplados; en otras palabras, sistemas. Sus modos de acción constituyen el resultado combinado de los modos de acción de los elementos individuales, y de la estructura del sistema; por ejemplo, de la red de acoplamiento de los elementos que componen el sistema.

g) El proceso de desarrollo de un sistema.

Se introducirá ahora explícitamente el supuesto de que la acción de los elementos de un sistema ocurre en el tiempo. Entre un cambio en sus salidas transcurre un cierto lapso que será llamado tiempo de reacción.

En las transformaciones (f. 2) que son las expresiones matemáticas del modo de acción de los elementos del sistema debe tomarse ahora en cuenta este proceso temporal. Para tal propósito se introduce el factor tiempo a las entradas y salidas de cada elemento. El vector.

$$x_t^{(r)} = (x_{1t}^{(r)}, x_{2t}^{(r)}, \dots, x_{m_t}^{(r)}) \quad (g. 1)$$

expresa los estados de entrada del elemento E_r en el momento t .

Si la acción es repentina, el vector determina los estados de las salidas del elemento después de los tiempos de reacción $\theta_1^{(r)}$, $\theta_2^{(r)}$, ... $\theta_x^{(r)}$ correspondientes a las varias salidas. 2/ Los estados de salida son entonces expresados por el vector.

$$y_{t+\theta}^{(r)} = (y_{1, t+\theta_1}^{(r)}, y_{2, t+\theta_2}^{(r)}, \dots, y_{n_r, t+\theta_{n_r}}^{(r)}) \quad (g. 2)$$

En casos especiales, todos o algunos de los momentos del tiempo pueden ser los mismos; por ejemplo, $\theta_1^{(r)} = \theta_2^{(r)}$, etcétera.

Como resultado, las transformaciones (f. 2) adquieren ahora la forma

$$y_{t+\theta}^{(r)} = T_r(x_t^{(r)}) \quad (r = 1, 2, \dots, N) \quad (g. 3)$$

En vista de ello, las transformaciones (f. 5) que expresan la "ley de movimiento" del sistema tienen la forma

$$x_{r, t+\theta}^{(s)} = R_{rs}(x_t^{(r)}) \quad (r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s) \quad (g. 4)$$

Este conjunto de transformaciones puede ser expresado como la transformación de un vector compuesto de los estados de salidas de todos los elementos del sistema:

$$X_{t+\theta} = R(X_t) \quad (g. 5)$$

o

$$X_{t+\theta} = TS(X_t) \quad (g. 6)$$

Los vectores X_t y $X_{t+\theta}$ se definen aquí como aquellos consisten-

2/ Los tiempos de reacción $\theta_1^{(r)}$, $\theta_2^{(r)}$, ... $\theta_{n_r}^{(r)}$ de las componentes individuales del vector $y_{t+\theta}^{(r)}$ se definen con respecto a todo el vector $x_t^{(r)}$ y no con respecto a sus componentes individuales. El superíndice (r) es necesario para mostrar a qué elemento del sistema se refiere el tiempo de reacción.

tes de las componentes de $x_{it}^{(r)}$ y $x_{i,t+\theta}^{(r)}$ donde $r = 1, 2, \dots, N$ e $i = 1, 2, \dots, m_r$, es decir, de las componentes de los vectores de entrada de todos los elementos del sistema.

De manera similar, se encuentra que las transformaciones (f. 8) adquieren ahora la forma

$$y_{r,t+\theta}^{(s)} = P_{rs}(y_t^{(r)}) \quad (r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s) \quad (g. 7)$$

Si se expresan como la transformación de un vector compuesto de los estados de salida de todos los elementos del sistema, se tiene

$$Y_{t+\theta} = P(Y_t) \quad (g. 8)$$

$$Y_{t+\theta} = ST(Y_t) \quad (g. 9)$$

Los vectores compuestos Y_t y $Y_{t+\theta}$ están formados por los componentes de $y_{it}^{(r)}$ y $y_{i,t+\theta}^{(s)}$

Por lo tanto, la "ley de movimiento" del sistema se expresa ahora matemáticamente como una ecuación vectorial en diferencias.

Esta ecuación establece las relaciones entre los estados de entrada (o salida) de los elementos del sistema en cierto momento t y los estados de entrada (o salida) en momentos posteriores $t + \theta_1(r)$ ($o t + \theta_1(s)$) correspondientes a los distintos tiempos de reacción. La "ley de movimiento" del sistema, por lo tanto, se convierte en una ley que determina los cambios de los estados de entrada (o salida) en el transcurso del tiempo. El modo de acción del sistema adquiere el carácter de un proceso de desarrollo del sistema en el tiempo.

El proceso de desarrollo del sistema en el tiempo o , como se dirá de aquí en adelante, el proceso de desarrollo del sistema se obtiene al resolver la ecuación en diferencias anterior. La solución puede ser obtenida por aproximaciones sucesivas. Si el momento inicial se denota por $t = 0$ y el miembro izquierdo de (g. 5) se sustituye sucesivamente por el vector de miembro derecho, se obtiene:

$$X_{\theta} = R(X_0), \quad X_{2\theta} = R^2(X_0), \dots,$$

etcétera.

Así que, en general, ley de desarrollo del sistema

$$X_{k\theta} = R^k(X_0) \quad (k \text{ es un entero}) \quad (g. 10)$$

donde R^k representa el orden de repetición de la operación R .

Cuando se hace esta sustitución, es necesario suponer cada vez que la acción se agota completamente con el tiempo; esto es, que el tiempo total de la acción es igual al tiempo de reacción más largo $\vartheta_i^{(r)}$. Es solamente después de que ha transcurrido este tiempo cuando el estado de todas las salidas queda determinado completamente, y a su vez determina por medio de los acoplamientos de los elementos el nuevo valor del vector compuesto de entrada de los elementos del sistema.

Por lo tanto, se supone que

$$\vartheta = \max \vartheta_i^{(r)} \quad (g. 11)$$

De manera semejante, por medio de sustituciones sucesivas en (g. 8), se encuentra que:

Ley de desarrollo del sistema

$$Y_{k\vartheta} = P^k(Y_0), \quad (g. 12)$$

donde $\vartheta = \max \vartheta_i^{(s)}$.

Por lo tanto, si todos los estados de entrada o salida de los elementos del sistema están dados al momento inicial $t = 0$, es posible determinar el estado de esas entradas y salidas en los momentos $t = k\vartheta$, correspondientes a múltiplos del tiempo de reacción más largo.

La ecuación en diferencias (g. 5) y (g. 8) será denominada "ley de movimiento del sistema en el tiempo"; la solución (g. 10) o (g. 12) de esta ecuación será llamada "ley de desarrollo del sistema".

Al derivar las leyes de movimiento del sistema en el tiempo y de desarrollo del sistema, se supone que la acción es repentina. En el caso de una acción gradual, un cambio en el estado del vector de entrada en el momento t causará cambios graduales en el vector de salida en momentos posteriores. En cada momento, $t + \tau$, el vector de salida tiene un valor definido que depende no solamente en los valores del vector de entrada en el momento t , sino también en la duración del tiempo τ .

Así, se puede expresar.

$$y_{t+\tau}^{(r)} = T_{\tau}(x_t^{(r)}, \tau)$$

Aquí, τ no es mayor que el tiempo de reacción más largo $\vartheta_t^{(r)}$ debido a que después de ese tiempo el vector de salida cesa de cambiar. Se denota esto expresando

$$0 \leq \tau \leq \max \vartheta_i^{(r)}$$

Cambiando el punto inicial para contar el tiempo, por ejemplo, -

escribiendo t en lugar de $t - \tau$ y $t - \tau$ en lugar de t , se obtiene:

$$y_t^{(r)} = T_r(x_{t-\tau}^{(r)}, \tau) \quad (g.13)$$

El valor del vector de salida en el momento t depende del valor del vector de entrada en el momento $t - \tau$ y de la duración del tiempo τ .

Sin embargo, a causa del carácter gradual de la acción, el valor del vector de salida en el momento t depende del valor del vector de entrada no solamente en el momento individual $t - \tau$, sino de sus valores en todos los momentos en el intervalo de tiempo $(t, t - \theta)$. Los efectos graduales de la acción de los estados de entrada están superpuestos; la suma de ellos determina el estado de las salidas en el momento t . Como resultado se obtiene:

$$y_t^{(r)} = \sum_{\tau=0}^{\theta} T_r(x_{t-\tau}^{(r)}, \tau) \quad (g.14.a)$$

donde para abreviar, $\theta = \max \theta_i^{(r)}$.

Si la acción gradual es un proceso discreto, entonces asume un número finito de valores correspondientes a los "brincos de tiempo" sucesivos de la acción. Por otra parte si este proceso es continuo, entonces τ asume todos los valores del intervalo continuo de tiempo $[0, \theta]$ y el miembro derecho de la ecuación (g.14.a) es una integral. Se tiene entonces que

$$y_t^{(r)} = \int_0^{\theta} T_r(x_{t-\tau}^{(r)}, \tau) d\tau. \quad (g.14.b)$$

Al sustituir las expresiones (g.14.a) y (g.14.b) en (f.1) se obtienen las transformaciones.

$$x_{r,t}^{(s)} = C_{rs} \sum_{\tau=0}^{\theta} T_r(x_{t-\tau}^{(r)}, \tau) \quad (g.15.a)$$

$$x_{r,t}^{(s)} = C_{rs} \int_0^{\theta} T_r(x_{t-\tau}^{(r)}, \tau) d\tau. \quad (g.15.b)$$

De esto, mediante la notación (f.4) se obtiene:

$$x_{r,t}^{(s)} = \sum_{\tau=0}^{\theta} R_{rs}(x_{t-\tau}^{(r)}, \tau) \quad (g.16.a)$$

$$x_{r,t}^{(s)} = \int_0^{\theta} R_{rs}(x_{t-\tau}^{(r)}, \tau) d\tau \quad (g.16.b)$$

donde $r, s = 1, 2, \dots, N$ y $r \neq s$.

Este conjunto de transformaciones puede ser presentado como la transformación del vector compuesto de los estados de entrada -

del sistema, es decir,

$$X_t = \sum_{\tau=0}^{\Phi} R(X_{t-\tau}, \tau) \quad (g. 17. a)$$

o

$$X_t = \int_0^{\Phi} R(X_{t-\tau}, \tau) d\tau \quad (g. 17. b)$$

El vector X_t está formado por las componentes $x_{it}^{(s)}$ y el vector $X_{t-\tau}$ consistente de las componentes $x_{it}^{(r)}$, donde $r, s = 1, 2, \dots, N_t$ e $i = 1, 2, \dots, m_r$. El símbolo Φ denota el valor mayor de $\Phi(r)$.

La primera de estas transformaciones vectoriales se refiere al caso de una acción gradual discreta. Constituye una ecuación vectorial en diferencias de orden mayor. La segunda transformación vectorial se refiere al caso de una acción gradual continua y tiene la forma de una ecuación vectorial integral.

De manera semejante se obtiene una ecuación vectorial en diferencias o una ecuación vectorial integral.

$$Y_t = \sum_{\tau=0}^{\Phi} P(Y_{t-\tau}, \tau) \quad (g. 18. a)$$

y

$$Y_t = \int_0^{\Phi} P(Y_{t-\tau}, \tau) d\tau \quad (g. 18. b)$$

En razón de (f. 7) estas ecuaciones son equivalentes a las ecuaciones (g. 17. a) y (g. 17. b).

Las ecuaciones anteriores expresan la ley de movimiento del sistema en el tiempo. La solución de estas ecuaciones produce funciones vectoriales de tiempo X_t y Y_t , las cuales determinan el desarrollo en el tiempo de los estados de entrada y salida del sistema. Estas funciones expresan la ley de desarrollo del sistema. En el caso de acción discreta, la forma de estas funciones, es decir el desarrollo del sistema en el tiempo depende de sus valores, esto es, de los estados de entrada y salida, en un cierto número finito de momentos iniciales contenidos en el intervalo inicial del tiempo $[0, \Phi]$. En el caso de acción continua, sin embargo, la forma depende de todos los valores de estas funciones en el período continuo inicial $[0, \Phi]$. Así que, si se conocen los estados del sistema en los momentos iniciales o en el intervalo inicial de tiempo, el desarrollo completo posterior del sistema está determinado.

B) REGULACION

a) Introducción

Se puede definir la cibernética como la ciencia general sobre el control y la regulación de los sistemas de acoplamiento. Se ocupa la cibernética de investigar las reglas y principios generales a los cuales se subordinan todos estos sistemas, independientemente de su carácter objetivo. Determinar la existencia de principios comunes en el funcionamiento de los sistemas técnicos, biológicos, económicos, etc., es la aportación principal realizada por la cibernética. Cada uno de los principios del funcionamiento de los mecanismos a otro tipo de sistemas de acoplamiento se conocen ya con anterioridad; sólo faltaba la generalización de estos principios y la determinación de las regularidades comunes.

El descubrimiento realizado por la cibernética, de la semejanza y de los principios generales a los que se subordinan los sistemas de acoplamiento, ha dado grandes resultados, tanto teóricos como prácticos. La importancia teórica de este descubrimiento consiste en que ha demostrado la existencia de la analogía estructural o, expresado en lenguaje matemático, el isomorfismo de los procesos que se originan en las diferentes ramas de la vida real, a saber: la técnica, la biología, la economía, etc.

La cibernética descubrió una analogía más profunda basada en la semejanza estructural de los métodos de acción de los sistemas de elementos acoplados. Esto representa un gran logro científico que tiene una importancia muy seria desde el punto de vista filosófico y desde el punto de vista de la metodología general de la ciencia.

b) Fórmula principal de la teoría de la regulación.

Considérese un determinado sistema regulado S (que puede ser una máquina de vapor, una turbina, una instalación de calefacción, etc), sobre el cual influyen ciertas acciones (por ejemplo, el caudal de vapor) que producen, como resultado, un efecto determinado (por ejemplo, aumento en la velocidad del movimiento rotativo de la máquina). Supóngase que tal efecto influye en un aparato que se conoce por regulador R, que a su vez influye sobre el sistema de regulación R considerado. A la "acción reversiva" de este tipo se le denomina retroacción o retroalimentación (feedback, literalmente regeneración), que se establece entre el funcionamiento del regulador R y el sistema regulado S.

Una retroacción así puede representarse en un dibujo conocido -- por diagrama de bloques, es decir, de forma estructural (figs. 1a y 1b), en el que el rectángulo con la letra S significa el sistema regulado y el rectángulo con la letra R el regulador, llamado también sistema regulante. Toda estructura compuesta del sistema --

regulado y del regulador se denomina sistema de regulación. Se le representa con un símbolo $S + R$, donde R y S son sistemas - acoplados con retroacción. En este diagrama la acción reversiva del regulador R se superpone al estado de la entrada del sistema regulado S , es decir, que se efectúa la superposición de las acciones. Se le representa de manera gráfica o indicando la acción reversiva del regulador sobre el sistema regulado como una entrada suplementaria (fig. 1a) o señalando la superposición de las operaciones en forma de círculo con una cruz (signo \oplus) e introduciendo, como una entrada, el resultado de esta superposición (fig. 1b). Ambas formas de representación son equivalentes.

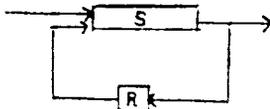


Fig. 1a

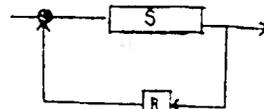


Fig. 1b

El sistema de elementos, conectado con el exterior solamente por determinadas entradas y salidas, recibe el nombre de sistema relativamente separado; o sistema relativamente aislado.

En el sistema entra cierta acción determinada por el número (o vector) x y sale una acción determinada por el número (o vector) y . Se puede entonces decir que en el sistema se efectúa cierta transformación, lo que se representa de la siguiente forma:

$$y = Tx \quad (b.1)$$

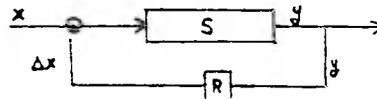


Fig. 2

¿En qué consiste el funcionamiento del sistema de regulación $S + R$? En el sistema regulado S se efectúa la transformación del estado de la entrada x en el estado de la salida y , que se representa por: $y = Sx$

Como puede observarse en el diagrama de bloques expuesto en la figura 2; el estado de la salida y del sistema regulado S se halla introducido a la entrada del regulador R , que lo transforma en el estado de la salida x . El estado de la salida del regulador está sumado al valor de la entrada x del sistema S y en el resultado final el estado de la entrada del sistema S es $x + \Delta x$. La corrección Δx de la entrada del sistema S depende del estado de la salida y . Se indicará por z el valor fijo; es decir, la norma deseada del estado de la salida del sistema regulado S . El ajust-

te adecuado del regulador R consiste en que la corrección x produzca la compensación de toda desviación del estado de la salida y y respecto al valor fijo z y reduzca el estado de la salida del sistema regulado a la norma dada, es decir, a $y = z$.

Se puede realizar un cálculo que determine los valores numéricos de la retroacción anteriormente descrita. Considérese para comenzar que en el sistema regulado se presenta una transformación sencilla que consiste en la multiplicación del estado de la entrada por el número natural S ; se tiene entonces, $y = Sx$. Esta transformación lleva el nombre de transformación proporcional.

Se llama muchas veces transformación proporcional de ampliación si $S > 1$ y de reducción si $S < 1$. Al sistema en que ocurre la transformación proporcional se le da entonces el nombre de amplificador o reductor. El número $S = \frac{y}{x}$ se denomina razón de transformación del sistema. Si, por ejemplo, el estado de la entrada del sistema $x = 3$ significa la cantidad de agua que afluye a un sistema dado y el estado de la salida $y = 2$, significa la cantidad de agua que sale del sistema, entonces la razón de transformación de este sistema es $S = \frac{y}{x} = \frac{2}{3} < 1$, lo que significa que el sistema es reductor.

La razón de transformación del sistema $S = \frac{y}{x}$ es el numerador de la relación, porque los números x e y pueden medirse en unidades diferentes. Por ejemplo, x puede significar la cantidad del vapor en litros que se introduce en la máquina de vapor durante el segundo, e y el número de revoluciones de la máquina por segundo. Entonces la razón de transformación $S = \frac{y}{x}$, viene determinada "en revoluciones por segundo que corresponden a un litro de vapor por segundo".

Considerando ahora que en el regulador también se realiza la transformación proporcional de la razón de transformación R . Entonces la corrección que el regulador introduce en el estado de la entrada del sistema regulado tiene el valor $\Delta x = Ry$. Introduciendo esta corrección, se obtiene que en el estado de la salida del sistema regulado tiene el valor final:

$$y = S(x + \Delta x) = S(x + Ry) = Sx + SRy$$

Se deduce de aquí

$$y = \frac{S}{1 - SR} x \quad (b. 2)$$

Esta es la fórmula fundamental de la teoría de la regulación ^{1/}

^{1/} Frecuentemente en la literatura dicha fórmula se expresa en la fórmula $y = \frac{S}{1 + SR} x$. Esto se deduce de que algunos autores dan a la razón de transformación del regulador R el signo menos para indicar la dirección retroactiva del regulador respecto al sistema de regulación.

Esta expresión indica la relación que existe entre el estado de salida y el estado de entrada del sistema regulado S después de tener en cuenta la corrección introducida por el regulador R. Esta fórmula permite determinar cuál debe ser el estado de la entrada; es decir, la magnitud que se regula x, denominada también alimentación del sistema de la regulación para que, en presencia de las magnitudes dadas S y R, obtener el resultado deseado $y = z$, es decir, para que el estado de la salida del sistema regulado fuese igual al valor previsto. Con este objeto, en la fórmula (b. 1) hacemos $y = z$ y se obtiene:

$$x = \frac{1 - SR}{S} z \quad (b. 3)$$

Si la magnitud que se regula x viene también dada, se puede determinar la razón de transformación R del regulador, necesaria para obtener el valor dado $y = z$. Es decir:

$$R = \frac{z - Sx}{Sz} \quad (b. 4)$$

Resultará a continuación que la acción de los llamados sistemas lineales de regulación puede determinarse por medio de la fórmula (b. 2). La expresión $\frac{S}{1 - SR}$ se denomina razón de transformación del sistema de regulación.

El regulador hace que se multiplique el segundo miembro de la ecuación $y = Sx$ por el factor $\frac{1}{1 - SR}$ que caracteriza el funcionamiento del regulador. Esto se ve mejor aún cuando la fórmula (b. 2) se expresa de la manera siguiente:

$$y = \frac{1}{1 - SR} Sx \quad (b. 2. a)$$

El factor $\frac{1}{1 - SR}$ expresa la acción de retroacción que se verifica en el sistema de regulación. Se le llamará multiplicador (u operador) de la retroacción. Multiplicando por dicho factor transformamos la razón de transformación del sistema regulado en la razón de transformación del sistema de regulación.

c) La regulación y el control. Tipos de control.

La regulación tiene por objeto asegurar el funcionamiento del sistema de manera que toda desviación del estado de las salidas del sistema con respecto a su valor propuesto, es decir la norma, se compense. Esto exige, como se ha visto, una selección adecuada del valor corrector (alimentación) del sistema regulado o de la razón de transformación del regulador.

El valor dado, es decir la norma del estado de la salida del sistema de regulación, puede ser constante o puede ser también una variable.

En el primer caso, cuando es constante, se hace referencia a la regulación simple 2/. En el segundo caso se trata de la regulación controlada 3/. Por control se quiere decir la determinación en cada caso del valor variable z , es decir, la norma variable del sistema de la regulación. La regulación consiste por tanto en la corrección de las desviaciones del estado de la entrada del sistema de cada valor respecto a su norma variable. La regulación corresponde entonces a la compensación de las desviaciones respecto a la norma cuyo valor en cada caso está determinado por el control.

Pueden existir diferentes métodos para determinar la variabilidad de la norma z . Si z está determinada como una función dada cuya variable es el tiempo t , es decir, $z = f(t)$, entonces se habla de control programado, y a la función $z = f(t)$ se denomina programa de control. Un ejemplo de control programado es el movimiento de un barco sobre una trayectoria que está determinada por medio de las coordenadas geográficas de los puntos de dicha trayectoria. Conociendo la velocidad del barco se puede determinar la posición de éste en cada instante. El trayecto de esta forma determinado es el programa de control, y el timonel, o sea el regulador automático, determina las desviaciones eventuales de la ruta prevista compensándolas, llevando a cabo la tendencia a mantener el rumbo designado, es decir, el programa de control.

El valor de z no tiene por qué estar determinado como la función del tiempo. El valor de z puede ser función de otro valor que se representa por w . Se dice entonces que se halla uno ante que se gundo tipo de control: el control rastreador, ya que el funcionamiento del sistema dado está determinado por la magnitud z cuyo valor depende a su vez, del rastreo de otra magnitud.

La magnitud w se denomina magnitud piloto y la magnitud dada, es decir la norma z , magnitud de alcance. La magnitud de alcance z se halla determinada por la función de la magnitud piloto w , la cual "rastrea", es decir $z = f(w)$.

Existe un tercer tipo de control. Se presenta este tipo cuando no hay un valor gufa determinado y la tarea del control consiste en -

2/ La regulación simple se designa también con el nombre de estabilización, y el correspondiente del regulador, estabilizador.

3/ En este caso el regulador recibe el nombre de timón o controlador.

hallar el valor de z (norma de funcionamiento del sistema) a partir del transcurso del control realizado hasta entonces. Expresado de forma diferente, el valor de z es una función de los estados alcanzados en los periodos o momentos anteriores. Este es el denominado control adaptativo.

Un caso muy importante del control adaptativo es el proceso de aprendizaje que consiste sacar conclusiones de experiencias del pasado. Por lo tanto, el control adaptativo se denomina frecuentemente "proceso de aprendizaje". Algunas veces el control adaptativo se denomina también "proceso hereditario" (hereditary process), porque en el curso del proceso parece como si se "heredase" la experiencia obtenida anteriormente. El valor dado se determina a partir de la "herencia" del pasado.

Existe también un cuarto tipo de control que consiste en que la magnitud dada (variable o constante) es el valor máximo o mínimo de cierta función (o su extremo). Casi siempre dicha función (o su extremo) contiene la magnitud del ajuste x y la razón de transformación S y R y varios parámetros suplementarios.

Se escribe en la forma $z = f(x, S, R, \text{parámetros suplementarios})$, entonces $z = \max f(x, S, R, \text{parámetros})$ o $z = \min f(x, S, R, \text{parámetros})$.

A este tipo de control, cuando z es constante, se la denomina control extremal u óptimo.

Los tipos de control mencionados se pueden también considerar de una manera uniforme de la forma siguiente. La norma variable de los sistemas de regulación es función de un parámetro determinado que se llamará criterio de control; representado este parámetro por s se tiene la función $z = f(s)$. Si el parámetro es una magnitud determinada por cualquier otro proceso que tiene lugar fuera del proceso del sistema de regulación, se presenta el control rastreador; esta magnitud es la magnitud w del control y se tiene $s = w$. Si el parámetro es el estado anterior de la salida del sistema de la regulación (o conjunto de los estados anteriores) se presenta el control adaptativo. Si, finalmente, el parámetro s viene determinado por la condición de optimización $\max f(s)$ o $\min f(s)$, se efectúa el control óptimo. Los tipos individuales de control se hallan determinados por el carácter del parámetro s , que representa el criterio de control.

Generalizando se puede suponer que la norma del sistema de regulación es una función del mayor número de parámetros. Se tiene entonces un criterio multiparamétrico de control y es posible referirse al control complejo. Por ejemplo, el control puede ser programado bajo el aspecto de un parámetro (tiempo), puede ser control rastreador en relación a otro parámetro (magnitud w), puede ser adaptativo en relación al tercer parámetro (debido a los estados de salida anteriores) y óptimo en cuanto al cuarto pa-

rámetro (que representa la condición de minimización de ciertos gastos o el esfuerzo). Un control complejo de este tipo de caracteriza el desarrollo de los organismos vivos. El comportamiento del organismo (estado de sus salidas) depende de su edad (es decir, del tiempo como parámetro), de diferentes magnitudes determinadas por el ambiente, del comportamiento anterior de este organismo (estados de sus salidas anteriores), por ejemplo, de los reflejos condicionales adquiridos y también de ciertas magnitudes resultantes de determinadas condiciones extremas (por ejemplo, la minimización del esfuerzo). La regulación homeostática compensa las desviaciones con respecto a la norma de comportamiento determinada por los factores mencionados.

d) Operadores lineales.

La fórmula fundamental de la teoría de la regulación $y = \frac{S}{I - SR} x$

se obtuvo con la condición de que S y R significasen las transformaciones proporcionales que se producen respectivamente en el sistema regulado y en el regulador, es decir, de que en ambos sistemas se realice una transformación que consiste en la multiplicación del estado de la salida por un número real S o R.

Ahora se demostrará que la fórmula fundamental de la teoría de la regulación tiene un campo de aplicación mucho más amplio.

El conjunto de reglas para realizar las operaciones algebraicas sobre los operadores recibe precisamente el nombre de cálculo de operadores.

Considérese un estado especial de los operadores llamados lineales. Son estos los operadores que cumplen las dos condiciones siguientes:

- 1) $T(cx) = cTx$
- 2) $T(x | v) = Tx | Tv,$

para todos los valores x e y que pertenecen a un conjunto determinado, siendo c un valor constante.

La primera de estas condiciones significa que la realización de la transformación T sobre la magnitud cx (donde c es constante), es igual a la realización de la transformación T sobre el valor x multiplicando después el resultado obtenido por c. Expresado en forma diferente puede preceder al signo del operador un valor constante c.

La segunda condición significa que los operadores lineales tienen -

la propiedad aditiva, es decir, la realización de la transformación sobre la suma de los valores x y v es igual a la suma de la transformación, realizada sobre x y la transformación realizada sobre v .

El operador lineal más simple es el operador de la transformación proporcional que transforma el estado de la entrada x en el estado de la salida y mediante la multiplicación del estado de la entrada por cierto número real; es decir, que $y = kx$, donde k es una constante (real). La constante k recibe el nombre de constante de transformación.

De lo anterior, se enumerarán ahora los operadores lineales fundamentales. Estos son:

1. El operador de la transformación proporcional, o más simplemente, operador de la proporcionalidad, sobre el que ya se ha hablado. Consiste en la multiplicación del estado de la entrada x por el número constante real k .
2. El operador de la diferencia. Considerando que el estado de la entrada x es función de cierto parámetro t , es decir, $x = f(t)$, dicho operador significa que para obtener el estado de la salida hay que diferenciar la función que expresa el estado de la entrada, es decir, obtener su diferencial. El operador de la diferencia se señala con un símbolo $\frac{d}{dt}$ o, más simplemente, D . Mediante el cálculo diferencial se sabe -- que por el hecho de sacar la diferencial se cumplen las condiciones de linealidad de la transformación, porque --- $Dcx = cDx$ y $D(x + v) = Dx + Dv$.
3. El operador de la integración, que consiste en obtener el estado de la salida como una función primaria, es decir la integral del estado de la entrada $x = f(t)$. Dicho operador se representa por el símbolo de la integral indefinida $\int \dots dt$. Es un operador lineal ya que, como es sabido, la constante puede preceder al signo integral y además la integral de la suma es igual a la suma de los integrales.
4. El operador de las diferencias, representado con el símbolo Δ . El sentido de este operador es el siguiente: Si el conjunto de los valores posibles de la entrada del sistema se puede representar por una serie $x_1, x_2 \dots, x_n$, entonces el operador Δ transforma el estado de la entrada $x_i + 1 - x_i$, es decir, $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$. Este operador es lineal -- porque $\Delta cx_i = c(x_{i+1} - x_i) = c\Delta x_i$ y también $\Delta (x_i + v_i) = x_{i+1} + v_{i+1} - x_i - v_i = \Delta x_i + \Delta v_i$.
5. El operador de la suma que se representa con el símbolo Σ simplemente consiste en la suma de los estados de la entrada según cierto indicador i .

6. El operador de adelantamiento viene representado por el símbolo E . Si un conjunto de posibles valores de la entrada del sistema se puede ordenar en forma de sucesión monótona x_1, x_2, \dots, x_n , entonces el operador E transforma el estado de la entrada x_i en el estado de la salida x_{i+1} , por lo que $E x_i = x_{i+1}$.
7. El operador de retrasamiento, similar al operador del movimiento, con que el estado de la entrada x_i se transforma en el estado de la salida x_{i+1} , se representa por E^{-1} y se puede escribir $E^{-1} x_i = x_{i-1}$. Los tres últimos operadores son lineales.

En la técnica los diferentes sistemas que corresponden a estos operadores fundamentales, es decir los aparatos, se llaman correlativamente aparato proporcional (dependiendo de las circunstancias el que sea amplificador o reductor), aparato de diferenciación o diferenciador, aparato para integrar o integrador, aparato para adelantamiento o aparato para retrasamiento (en ciertas circunstancias se le denominará también aparato retardante).

La definición de una suma de dos operadores puede expresarse como sigue:

$$(T_1 + T_2) x = T_1 x + T_2 x.$$

Análogamente se expresa la definición de la diferencia de dos operadores.

$$(T_1 - T_2) x = T_1 x - T_2 x \quad (d.1)$$

La definición del producto de dos operadores T_2 y T_1 , determina la siguiente ecuación;

$$T_2 T_1 x = T_2 (T_1 x) \quad (d.2)$$

Hay que subrayar que la multiplicación de los operadores no siempre es intercambiable, es decir, la realización sobre x de, primero la transformación T_1 y después sobre el resultado la realización primero de la transformación T_2 , y luego de la transformación T_1 .

1/ Por ejemplo, la multiplicación de los operadores de la transformación proporcional es intercambiable, pero no lo es la multiplicación de los operadores de la transformación, que consiste en la multiplicación de un vector por una matriz a la que se puede considerar como cierta generalización de la transformación proporcional. Asimismo, no siempre es intercambiable la multiplicación de los operadores de diferenciación. Si, por ejemplo, tenemos la función $f(x, y)$ y señalamos por D_x el operador de la diferenciación con respecto a x , y por D_y el operador de la diferenciación con respecto a y , entonces $D_x D_y = D_y D_x$ tan sólo en el caso en que la diferencial $D_x D_y f(x, y)$ es continua.

La segunda potencia del operador se determina por medio de la multiplicación de los operadores iguales:

$$T^2 x = T(Tx) \quad (d. 3)$$

Utilizando el método de inducción se puede explicar fácilmente lo que significa la potencia del operador: $T^n x$, donde n es un número natural. Consiste en multiplicar n veces la operación de la misma transformación.

Al símbolo $\frac{1}{T}$ o T^{-1} se le denomina operador de la transformación inversa. El significado de este operador es que si T es el operador de la transformación que transforma x en y , entonces T^{-1} es el operador de la transformación que transforma y en x , de manera que si $y = Tx$, entonces $x = T^{-1}y$.

La definición del operador T^{-1} hace posible la determinación de la división de los operadores, a saber:

$$T_1 : T_2 = T_1 \cdot T_2^{-1} \quad (d. 4)$$

Se introduce finalmente el símbolo de la transformación idéntica - T^0 , que también se representa por I . La transformación idéntica cambia un valor dado x en el mismo valor x , así que $T^0 x = Ix = x$.

Si la transformación es una transformación proporcional, I es un operador de la transformación que consiste en la multiplicación - por 1 .

De la definición del operador de la transformación inversa resulta que:

$$TT^{-1} = T^{-1}T = T^0 = I \quad (d. 5)$$

puesto que se tiene

$$y = Tx = TT^{-1}y = y$$

y también

$$x = T^{-1}y = T^{-1}Tx = x$$

Las operaciones expuestas anteriormente sobre los operadores, hacen posible una mutua sustitución de algunos de los operadores fundamentales lineales mencionados y, así, el operador de la integración se puede sustituir por el operador inverso con respecto al operador de la diferenciación, puesto que se tiene que

$$\int \dots dt = D^{-1}$$

- Asimismo, el operador del atrasamiento es igual al operador in-

verso con respecto al operador del adelantamiento, lo que se ha subrayado representándolo con un símbolo E^{-1} .

El operador de formación de las diferencias finitas se puede expresar por medio del operador de adelantamiento. En efecto.

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i = Ex_i - x_i = (E - 1) x_i$$

de manera que $\Delta \equiv E - 1$ ó $E \equiv \Delta + 1$.

La expresión $\Delta \equiv E - 1$ significa que el operador de formación de las diferencias finitas es igual a la diferencia entre el operador de adelantamiento y el operador de la transformación idéntica. Asimismo el operador de la suma se puede expresar por medio del operador de adelantamiento. Como se tiene

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_i &= x_1 + Ex_1 + E^2 x_1 + \dots + E^{n-1} x_1 = \\ &= (1 + E + E^2 + \dots + E^{n-1}) x_1 = \frac{E^n - 1}{E - 1} x_1 \end{aligned}$$

se puede escribir

$$\sum_{i=1}^n \frac{E^n - 1}{E - 1}$$

De esta manera los siete operadores lineales fundamentales anteriormente mencionados, se pueden limitar a eso que se definen como los operadores lineales elementales. Los demás operadores pueden expresarse por medio de éstos. Como operadores elementales se toman al operador de la proporcionalidad, al operador de la diferenciación y al operador del adelantamiento.

La fórmula fundamental de la teoría de la regulación $y = \frac{S}{I - SR} x$ es efectiva en todas las transformaciones que tengan lugar en cualquier sistema regulado y en el regulador cuyos operadores sean lineales.

Mediante el ejemplo de la demostración de la fórmula fundamental de la teoría de la regulación se observa en qué consiste la comodidad de servirse del cálculo de operadores. El resultado es que sobre los operadores pueden realizarse operaciones algebraicas y obtener fórmulas como si los operadores fueran números.

Esto permite subordinar a los operadores ciertos números (o vectores).

C) ESTABILIDAD EN LOS SISTEMAS DE DESARROLLO

a) La interpretación dinámica de la fórmula fundamental de la teoría de la regulación.

Se presenta la posibilidad de estimar por analogía que el operador de la retroacción $\frac{1}{1 - SR}$, que expresa la función del regulador, se puede considerar como la suma de una progresión geométrica infinita.

$$\frac{1}{1 - SR} = 1 + SR + (SR)^2 + (SR)^3 + \dots \quad (a.1)$$

con lo que dicha fórmula tiene sentido (es decir, la progresión -- arriba presentada es convergente cuando "el valor absoluto" SR - es menor que 1, es decir, cuando $|SR| < 1$).

El significado del símbolo SR no ha sido aún considerado de manera general. Se sabe, sin embargo, cuál es su sentido en casos particulares. Si, por ejemplo, el sistema regulado y el regulador realizan la transformación proporcional, por lo que a S y R le corresponden números reales por los cuales se multiplica el estado de la entrada, entonces $|SR|$ tiene un significado determinado porque indica la multiplicación por un valor absoluto del producto de dos números reales. Se puede también determinar el símbolo $|SR|$, cuando los operadores S y R significan la multiplicación por un número asociado, dado que en matemáticas hay una noción determinada del valor absoluto (módulo) del número asociado, de la cual es posible servirse aquí.

La transformación $y = Tx$ puede expresarse simbólicamente en la forma $T = \frac{y}{x}$.

Esta expresión indica que a cada operador se le puede subordinar una relación $\frac{y}{x}$, es decir, la razón de transformación del sistema.

Esta es la relación de dos números o vectores, puesto que el valor absoluto (módulo) del vector, es un número real; luego siempre se puede hablar del valor absoluto de la razón de transformación del sistema $|\frac{y}{x}| = \frac{|y|}{|x|}$. Así, pues, de la expresión

$T = \frac{y}{x}$ se obtiene la determinación del valor absoluto del operador como el valor absoluto de su razón de transformación.

El valor absoluto así determinado es siempre una variable, puesto que el estado de la entrada x y el estado de la salida y, son por definición variables; por ejemplo, son funciones de tiempo x(t) e y(t), o dependen de otras variables. Para obtener de una manera definitiva un valor constante determinado, subordinado al operador

T, se toma el límite superior de los valores absolutos $\frac{y}{x}$.

Para los operadores lineales continuos este límite superior siempre existe. Finalmente, se va a definir el valor absoluto del operador, llamado también su norma, como

$$\|T\| = \lim \sup \left| \frac{y}{x} \right| \quad (\text{a. 2})$$

De esta manera, a cada operador se halla subordinado un valor que significa su valor absoluto. ^{1/}

Resulta entonces que $(SR)^m \rightarrow 0$, cuando $m \rightarrow \infty$, si $|SR| < 1$, es decir, cuando el correspondiente límite superior de la razón de transformación es menor que uno. Entonces, la suma de la progresión infinita $1 + (SR) + (SR)^2 + (SR)^3 + \dots = \frac{1}{1 - SR}$, e $y = [1 + (SR) + (SR)^3 + \dots] Sx = \frac{S}{1 - SR} x$.

Como se ve, la acción del regulador produce aumentos continuos (positivos o negativos) del valor del estado de la salida y del sistema de regulación. Por el momento este estado es Sx , luego aumenta por el valor $(SR)x$, más tarde por el valor $(SR)^2 Sx$, etc. Esto ocurre a causa de las continuas reacciones del estado de la salida del sistema regulado sobre su estado de entrada por medio de la retroacción del regulador. Si $|SR| < 1$, entonces estos aumentos son cada vez menores y su suma convergente.

La condición de la convergencia de la progresión que aparece en el segundo miembro de la ecuación (a. 1) se puede determinar también por medio de las raíces características del operador SR. De manera parecida a lo hecho con las matrices, se determinan las raíces características del operador T como los valores numéricos del parámetro λ , con los cuales existe la solución nula de la ecuación.

$$Tx = \lambda x, \quad (\text{a. 3})$$

donde el valor x es un número vector o función. Esta ecuación se puede expresar también en la siguiente forma:

$$(T - I\lambda) x = 0 \quad (\text{a. 3. 1})$$

La condición de la existencia de una solución no nula de esta ecuación es

^{1/} Al límite superior de un conjunto de números reales se le designa mediante un número real g, tal que: 1) cada número del conjunto dado no es mayor que g; 2) cada número menor que g es menor, por lo menos, que un número del conjunto dado.

$$T - \lambda I = 0 \quad (a. 4)$$

es decir, que el operador $T - \lambda I$ es un operador nulo. Esta es la ecuación característica del operador T . Los valores del parámetro, que cumplen la ecuación característica, son las raíces características del operador T . De manera semejante, en el caso de la matriz $2'$, se encuentra, mediante las sustituciones reiteradas en la ecuación (a.3), que $T^m x = \lambda^m x$. Entonces, si $x \neq 0$, T^m tiende a cero con el exponente m , solamente y cuando $\lambda^m \rightarrow 0$. Esto sucede cuando $|\lambda| < 1$ para todos los valores posibles de las raíces características. Entonces la serie $I + T + T^2 + \dots$ es convergente y su suma tiene el valor $\frac{1}{1 - T}$, es decir, -----
($I - T$)⁻¹.

Con ayuda de las raíces características el operador de la retroacción (a.1) puede expresarse de la siguiente forma:

$$\frac{1}{1 - SR} = I + (I + \lambda + \lambda^2 \dots) SR$$

y la fórmula fundamental de la teoría de la regulación

$$Y = Sx + (I + \lambda + \lambda^2 + \dots) SR \quad Sx. \quad (a. 5)$$

Si $|\lambda| < 1$, entonces $|\lambda|$ es un coeficiente de debilitamiento de -- las variaciones reiteradas de la salida del sistema de regulación -- que tienen lugar por la acción del regulador.

Para analizar con más precisión la dinámica del proceso de regulación, hay que tomar en consideración el hecho de que las reacciones que se dan en el sistema de regulación requieren cierto tiempo. Entonces, las variables x e y tienen que ser fechadas. Póngase por caso que sobre el regulador, en un cierto período t , actúa la magnitud y_{t-1} , es decir el valor de la variable y del período anterior. Entonces la fórmula fundamental de la regulación toma la siguiente forma:

2/ En el caso de la matriz, la cantidad de las raíces características es limitada (o ilimitada cuando la matriz es infinita); en el caso general del operador lineal, el conjunto de las raíces características puede ser infinito y no calculable. Por ejemplo, los valores que cumplen la ecuación característica pueden ser una función continua de cierta variable s . En ese caso las raíces características forman un espectro continuo de los valores de la función (s). Por ejemplo, si el valor x es una función diferenciable $x(s)$ de la variable s , que posee el primer diferencial continuo $x'(s)$; el operador T es un operador de la diferenciación D . Entonces, en vez de la ecuación (a.3) se tiene $Dx(s) = \lambda x(s)$, es decir, $x'(s)$ luego $\lambda = \frac{x'(s)}{x(s)}$ es la función de la variable s .

$$y_t = S(x_t + Ry_t - 1) \quad (a. 6)$$

En otras palabras, se parte de que existe cierto retraso de la acción del regulador en el tiempo y con ello se puede considerar esta tardanza como la unidad para medir el tiempo.

La fórmula (a. 6) puede ser transformada en los términos siguientes:

$$y_t = SRy_t - 1 + Sx_t$$

o (introduciendo en la fórmula el operador E^{-1})

$$y_t = SR E^{-1} y_t + Sx_t \quad (a. 7)$$

Como se sabe, la condición de la estabilidad es que el valor absoluto del operador SR sea menor que 1, es decir $|SR| < 1$, como se ha anotado - el valor absoluto del operador es el límite superior del valor absoluto de su razón de transformación.

La condición $|SR| < 1$ se puede también expresar en la forma $|R| < \frac{1}{|S|}$: se le llamará al valor absoluto R potencia del regulador

y al valor absoluto S potencia del sistema regulado. Se puede decir entonces que la condición de estabilidad del sistema de regulación es que la potencia del regulador sea menor que la inversión de la potencia del sistema regulado. En tal caso se dice también que la retroacción es compensadora.

La formulación de la condición de estabilidad del sistema, presentada arriba, es fácil de interpretar. Si el regulador tiene que funcionar de manera efectiva, tiene que disminuir las perturbaciones que aparezcan en el sistema. Cuando $|R| > \frac{1}{|S|}$, el funcionamiento

del regulador es demasiado fuerte y el proceso que se da en un sistema dado se aleja del estado de equilibrio. Se dice entonces que tiene lugar una retroacción acumulativa, lo que ocurre cuando la potencia del regulador es mayor que la inversión de la potencia del sistema regulado. En el caso $|R| = \frac{1}{|S|}$, es decir cuando la

potencia del regulador es igual a la potencia del sistema regulado, el sistema se halla en el límite de la estabilidad, las perturbaciones aparecidas no se suprimen ni aumentan, cada estado es el de equilibrio.

Se ha analizado la dinámica de un proceso discreto de regulación, es decir, que se ha supuesto que el regulador posee una acción discreta con una duración determinada Δt .

Supóngase ahora que la duración pueda tener un valor arbitrario Δt , que se considerará como un valor variable. Introduciendo el valor variable Δt en la ecuación reducida de la regulación, y suponiendo que la diferencia $\bar{y}_t - \bar{y}_{t - \Delta t}$ es proporcional a Δt , se obtiene la ecuación:

$$\bar{y}_t - \bar{y}_{t - \Delta t} = (SR - 1) \bar{y}_{t - \Delta t} \Delta t \quad (a. 8)$$

$$\frac{\bar{y}_t - \bar{y}_{t - \Delta t}}{\Delta t} = (SR - 1) \bar{y}_{t - \Delta t} \quad (a. 9)$$

El primer miembro de la ecuación (a. 6) expresa el aumento de la perturbación, en el período Δt , que constituye el retraso de la acción del regulador. Dicho aumento es tanto mayor cuanto más retrasado esté el regulador en su funcionamiento; es decir, constituye la función creciente de esta duración. Para las duraciones pequeñas, se puede considerar dicho aumento como proporcional a la duración Δt , lo que introduce el factor Δt en el segundo miembro de la ecuación.

Supóngase que la duración del funcionamiento del regulador es cada vez más corta; es decir que $\Delta t \rightarrow 0$. Entonces la ecuación (a. 9) transforma en la siguiente ecuación diferencial 3/

$$\frac{d\bar{y}(t)}{dt} = (SR - 1) \bar{y}(t) \quad (a. 10)$$

3/ Se observa que cuando $\bar{y}(t)$ es un vector, la fórmula (a. 7) indica el sistema de ecuaciones diferenciales que corresponden a determinados componentes del vector $\bar{y}(t)$.

Esta ecuación describe el proceso continuo de regulación. En el caso de un proceso continuo, se escribe t entre paréntesis, y no en forma de subíndice: así, $y(t)$ en vez de y_t , etc. Esto facilitará la diferenciación de los procesos continuos de los procesos discretos.

La solución de esta ecuación diferencial se puede expresar en esta forma conocida:

$$\bar{y}(t) = \bar{y}(0) e^{(SR - 1)t} \quad (a.11)$$

donde la constante $\bar{y}(0)$ está determinada por la condición primaria del estado del sistema. Es decir, $\bar{y}(0)$ es la perturbación en el momento inicial $t = 0$. En efecto, la ecuación diferencial (a.10) puede ser transformada en estos términos:

$$\frac{d\bar{y}(t)}{dt} \frac{1}{\bar{y}(t)} = SR - 1 \quad \text{ó} \quad \frac{d \ln \bar{y}(t)}{dt} = SR - 1$$

Integrando ambos miembros se obtiene $\ln \bar{y}(t) = (SR - 1)t + \text{constantes}$, o sea, $\bar{y}(t) = K e^{(SR - 1)t}$, donde K es constante. Haciendo $t = 0$ se tiene que $K = \bar{y}(0)$.

Como resultado de la fórmula (a.11) la condición de la estabilidad del sistema es tal que $SR - 1 < 0$, es decir, $SR < 1$ ó $R < \frac{1}{S}$. Por ejemplo, puede ser $SR = -2$ y el sistema también sería estable.

De modo que el proceso de regulación efectuado en un sistema en el cual el regulador funciona de una manera continua, posee siempre un carácter monótono y no surgen oscilaciones en él. El valor $\bar{y}(t)$, cuando $t \rightarrow \infty$ es constantemente positivo o constantemente negativo, dependiente de $\bar{y}(0)$.

Como se sabe, la condición de la estabilidad es que el valor absoluto del operador SR sea menor que 1, es decir $|SR| < 1$, con lo que como se ha anotado el valor absoluto del operador es el límite superior del valor absoluto de su razón de transformación.

La condición $SR < 1$ se puede también expresar en la forma $R < \frac{1}{S}$: se le llamará al valor absoluto R potencia del regulador y al valor absoluto S potencia del sistema regulado. Se puede decir entonces que la condición de estabilidad del sistema de regulación es que la potencia del regulador sea menor que la inversión de la potencia del sistema regulado. En tal caso se dice también que la retroacción es compensadora.

La formulación de la condición de estabilidad del sistema, presentada arriba, es fácil de interpretar. Si el regulador tiene que funcionar de manera efectiva, tiene que disminuir las perturbaciones que aparezcan en el sistema. Cuando $R > \frac{1}{S}$, el funciona---

miento del regulador es demasiado fuerte y el proceso que se da en un sistema dado se aleja del estado de equilibrio. Se dice entonces que tiene lugar una retroacción acumulativa, lo que ocurre cuando la potencia del regulador es mayor que la inversión de la potencia del sistema regulado. En el caso $R = \frac{1}{S}$, es decir --

cuando la potencia del regulador es igual a la potencia del sistema regulado, el sistema se halla en el límite de la estabilidad, - las perturbaciones aparecidas no se suprimen ni aumentan cada - estado es el de equilibrio.

El operador T^{-1} , al igual que el operador T , es el resultado de las operaciones algebraicas sobre los operadores 4/ elementales - K , D y E^{\ominus} o sobre sus operadores inversos. En cada elemento - se realiza la transformación determinada por uno de los operadores elementales señalados (transformación proporcional, diferenciación o adelantamiento). Los elementos no están acoplados entre sí por medio del acoplamiento en paralelo, en serie o retroacción. Como se sabe, el resultado de estos acoplamientos se - expresa en forma de adición, multiplicación o división de los operadores (la sustracción es la adición de un operador multiplicado por el operador de la proporcionalidad $k = - 1$).

En cambio, el operador T^{-1} (o el operador T), que indica la -- transformación conjunta que tiene lugar en el sistema de regulación, se puede representar en forma de un polinomio de los operadores D y E^{\ominus} . Se tiene entonces:

$$T^{-1} = \sum_{r=0}^{\lambda} \sum_{s=0}^m \alpha_{rs} D^r E^{\ominus s}, \quad (a. 12)$$

En este polinomio los coeficientes α_{rs} son el resultado de la multiplicación de diversos valores k , correspondientes a las transformaciones proporcionales que se están efectuando; son pues números naturales. Los operadores D^r significan la diferenciación r veces, si $r > 0$, o la integración si $r < 0$. Los operadores $E^{\ominus s}$ significan el desplazamiento de \ominus_s , hacia adelante, si $\ominus_s > 0$, o hacia atrás si $\ominus_s < 0$. Si $r = 0$, o $\ominus = 0$, se tienen los operadores de identidad D^0 y $E^{\ominus 0}$, que se pueden desdeñar. Claro está - que algunos, aunque no todos los coeficientes α_{rs} pueden ser iguales a cero, se supone que el número de elementos del sistema es limitado, de manera que los límites de la adición: k (el número máximo de las repeticiones de la integración), λ (el número --

4/ Como operador elemental se tiene aquí E^{\ominus} , y no E , puesto - que el adelantamiento \ominus no siempre se puede expresar por - medio de un número entero. Si θ no es un número entero, el operador E no puede ser interpretado como la repetición \ominus veces de la operación E ; por lo tanto, tiene que ser tomado como un operador elemental.

máximo de las repeticiones de la diferenciación) y m ($m + 1$ es el número de los adelantamientos), son finitos.

De las raíces características λ , expresadas en las ecuaciones --- (a.3) a (a.5), y tomando en cuenta la ecuación de retroacción del sistema, para procesos continuos: $\hat{y}(t) = \frac{S}{1 - SR} x(t)$, está de

pende de la función de la entrada $x(t)$; es decir del transcurso en el tiempo de los estados de la entrada (alimentación) del sistema. Se le denominará componente de alimentación. En cambio, el -- primer componente - la solución de la ecuación - es independiente de los estados de la entrada del sistema, de sus "características propias". Estas "características propias" se expresan, por las raíces características λ_j . A este componente se le llamará componente propio.

Las raíces características λ_j pueden ser reales o asociadas, y aparecen siempre en parejas acopladas, puesto que los coeficientes r_s son por definición reales. Si las raíces son reales, son posibles los tres casos siguientes:

- 1) Todas las raíces son reales y negativas; es decir, $\lambda_j < 0$ para todas las j . Entonces el componente propio de la solución tiende a cero, cuando $t \rightarrow \infty$. Dicho componente desaparece con el tiempo; por lo tanto, en este caso se le llama componente de transición. Así, pues, la solución general $y(t) \rightarrow \hat{y}(t)$; o sea, el componente de alimentación determinado por la fórmula fundamental de la regulación. El sistema es entonces estable, se aproxima a un estado de equilibrio determinado. El estado de equilibrio varía en el tiempo cuando varía el valor de la alimentación $x(t)$ (se habla entonces de equilibrio móvil) y es invariable cuando la alimentación es un valor constante; es decir $x(t) = \text{const}$ (se habla entonces de equilibrio estacionario). La convergencia al estado de equilibrio es monótona.

Si se regula el sistema habrá un valor dado (la norma) $z(t)$, que deberá ser cumplido por el estado de la salida del sistema. En el caso de la regulación controlada dicha norma será el resultado del criterio de control estipulado. Si $\hat{y}(t) = z(t)$, entonces el sistema funciona conforme a la norma dada; en cambio; si $\hat{y}(t) \neq z(t)$ existe un error fijo sistemático del sistema $e(t) = \hat{y}(t) - z(t)$. Un error de este tipo, como se sabe, se puede eliminar mejorando los elementos del sistema que funcionan como reguladores, o -- cambiando adecuadamente la alimentación; por ejemplo, la de la entrada $x(t)$.

- 2) Una o más de las raíces reales $\lambda_j > 0$. Entonces el componente de la solución general de la ecuación de reacción del sistema, tiende a ∞ , cuando $t \rightarrow \infty$. En tal caso, el sistema es inestable: el estado de la salida $y(t)$ cada vez se a-

leja más del equilibrio determinado por el componente de alimentación. Las "características propias" del sistema cada vez perturban más el efecto causado por la alimentación $x(t)$, el sistema "se escapa" cada vez más de la influencia de la alimentación. En este caso el componente propio $\bar{y}(t)$ determina la tendencia del desarrollo de la salida del sistema. Dicha tendencia no depende de la alimentación $x(t)$ y es el resultado de las "características propias" del sistema; expresa su ley interna del movimiento.

- 3) Todas las raíces $\lambda_j = 0$. Entonces el componente propio de la solución posee un valor arbitrario y se tiene $y(t) =$ valor arbitrario $+ \bar{y}(t)$. Se dice entonces que el sistema está en el límite de la estabilidad: se le puede dar una desviación arbitraria del estado de equilibrio $\bar{y}(t)$. Esta desviación ni disminuirá ni aumentará. Se dice entonces que cada estado del sistema es el estado de equilibrio.

¿Qué sucede cuando la ecuación característica tiene raíces asociadas? Sea $\lambda_j = \alpha_j + i\beta_j$ entonces la función $e^{\lambda_j t}$ se puede expresar:

$$e^{\lambda_j t} = e^{\alpha_j t} e^{i\beta_j t}$$

Utilizando la fórmula de Euler $e^{iw} = \cos w + i \sin w$, se escribe:

$$e^{\lambda_j t} = e^{\alpha_j t} (\cos \beta_j t + i \sin \beta_j t) \quad (a. 13)$$

De modo que en el caso de que la raíz característica esté asociada, el componente propio $\bar{y}(t)$ de la solución de la ecuación de reacción del sistema, contiene un elemento periódico. El transcurso en el tiempo del estado de salida $y(t)$ es entonces oscilatorio (el tipo de oscilación depende del signo de la parte real de la raíz λ_j ; es decir, el signo α_j que determina la amplitud de la oscilación está amortiguada y al cabo de cierto tiempo desaparece. Si $\alpha_j = 0$, la oscilación es constante; es decir, que su amplitud es invariable. Si $\alpha_j > 0$, la amplitud de la oscilación crece indefinidamente.

Puesto que los números reales pueden ser considerados como un caso particular de los números asociados, el resultado puede resumirse como sigue. Se consideran las raíces características como números asociados:

$$\lambda_j = \text{re} \lambda_j + i \text{im} \lambda_j$$

- 5 La expresión "ley de movimiento" la usa Marx para determinar la regularidad del desarrollo que resulta de las "características propias" del sistema capitalista.

donde $\text{re}\lambda_j$ significa la parte real e $\text{im}\lambda_j$ la parte asociada. La parte real decide la estabilidad del sistema; a saber: - el sistema es estable si $\text{re}\lambda_j < 0$ para todos los λ_j ; está en el límite de la estabilidad si $\text{re}\lambda_j = 0$ para todos los λ_j ; es inestable si $\text{re}\lambda_j > 0$ para uno o más λ_j . La parte asociada decide que el transcurso en el tiempo del estado de la salida del sistema sea monótono u oscilatorio. El transcurso es monótono si $\text{im}\lambda_j = 0$ para todos λ_j ; es oscilatorio si $\text{im}\lambda_j \neq 0$ para uno o más λ_j .

Merece especial atención este caso cuando hay una o más raíces reales positivas y una o más raíces imaginarias de forma que $\lambda_j < 0$. Las raíces reales positivas determinan el curso del desarrollo del estado de la salida del sistema, y las raíces asociadas determinan las oscilaciones en el transcurso del estado de la salida del sistema. Puesto que el componente propio de la solución es la suma de expresiones del tipo $q_j(t) e^{\lambda_j t}$ la dirección y las oscilaciones se superponen y tiene lugar, como se dice, la superposición. Sin embargo, en vista de que $\text{re}\lambda_j < 0$, estas oscilaciones desaparecen con el tiempo y las desviaciones de la dirección se anulan paulatinamente. En este caso tiene lugar el autocontrol del sistema. Las "características internas" del sistema determinan su "ley interna del movimiento" que se expresa en la dirección del transcurso de sus estados de la salida, típica para este sistema. Las mismas características internas determinan también la propiedad de la autoeliminación de las desviaciones oscilatorias de la tendencia.

Es interesante también el caso del sistema que se encuentra en el límite del autocontrol. Sucede esto cuando una parte de las raíces, características es real y positiva, otra parte es imaginaria y $\text{re}\lambda_j \leq 0$ de donde $\text{re}\lambda_j = 0$ para, por lo menos, uno de ellos. Entonces se da la superposición de la tendencia y la oscilación de amplitud constante.

Sobre la estabilidad, monotonía u oscilación de un sistema, decide el componente propio de la ecuación de reacción. o sea, el tiempo que emplea el regulador para regular al sistema. En cambio, el componente de alimentación determina el estado de equilibrio del sistema. Ambos componentes no son, sin embargo, independientes entre sí, puesto que hay cierta relación entre las raíces características λ_j que aparecen en el componente propio y los operadores S y R que aparecen en el componente de alimentación.

Distintos sistemas reaccionan de manera diferente a la misma alimentación, puesto que la reacción depende de las propiedades del sistema, o sea, de sus "características propias". De las mismas "características propias" dependen también las raíces características y, a la vez, el componente propio de la solución de la ecuación de reacción del sistema.

D) PROCESOS ERGODICOS AUTOCONDUCCIDOS.

El proceso de un sistema estable tendiente a un estado de equilibrio es un caso especial de una categoría más amplia de procesos de desarrollo a los cuales se denomina ergódicos. Los procesos ergódicos son procesos de desarrollo tales que, con el tiempo, llegan a ser independientes del estado inicial del sistema. 1/

1/

El término ergódico es utilizado aquí de manera análoga a la de la teoría de cadenas Markov. Se dice que una cadena de Markov es ergódica cuando la distribución de probabilidad en experimentos sucesivos converge a una distribución límite independiente de la distribución inicial.

Me permitiré hacer aquí una ampliación al concepto de cadenas de Markov:

¿Qué es cadena de Markov?

Es, grosso modo, una historia: la de un sistema que sufre a lo largo del tiempo cambios de estado o transiciones aleatorias y que sin estar del todo desprovisto de memoria, sólo guarda de su pasado el recuerdo más reciente.

Una partícula que vaga por el espacio, el estudio de ciertos caracteres biológicos de una población, un grupo sociológico que pierde y adquiere sin cesar nuevos miembros y cierto tipo de situaciones económicas son otros tantos ejemplos de tal evolución.

Noción General de Proceso Aleatorio.

Es el punto de vista que se califica en general de probabilístico, en oposición al punto de vista determinista, y consiste en describir la evolución en el transcurso del tiempo de un "sistema" en términos de probabilidades.

Definiendo estas últimas palabras con precisión:

Sea Ω el conjunto de todos los estados que puede tomar un sistema (Σ) en los distintos instantes de tiempo. Describir la evolución de (Σ) "en términos de probabilidades" es dar la probabilidad de todos los sucesos del tipo siguiente: "En el instante t , el sistema se halla en un estado $X(t)$ perteneciente a un subconjunto e de Ω ", así como las probabilidades de tener conjuntamente un número cualquiera de estos sucesos para distintos instantes t_i y -

distintos subconjuntos e_i de Ω .

Es decir, formalizando esta vez, dar las probabilidades:

$$(1) \text{ Pr } \{X(t_1) \in e_1, \dots, X(t_n) \in e_n\} \forall n, \forall t_i; \forall e_i \subset \Omega$$

Se dice que la evolución de un sistema es un proceso aleatorio si puede ser así descrita en lenguaje de probabilidades.

Nota 1 ___ Puede considerarse el suceso o estado $X(t)$ como un conjunto de variables aleatorias respecto a un parámetro t : pero puede también considerarse el conjunto $x(t)$ de las realizaciones de $X(t)$, que se observarán en el transcurso del tiempo, como una función de t , pero como función aleatoria ya que el azar interviene en su determinación. La definición de proceso aleatorio por medio de las probabilidades (1), es decir, por la ley de toda n -uple de variables aleatorias $X(t)$, es suficiente en el primer caso.

Nota 2 ___ Del mismo modo que la ley de probabilidad de una variable aleatoria puede constar excepcionalmente de un valor cierto y de todos los demás imposibles, también los procesos aleatorios contienen como caso particular las evoluciones deterministas.

Se puede decir por último que el conjunto de todas las probabilidades (1) recibe el nombre de ley temporal.

2. Otra forma de la ley temporal.

Los instantes t_1, \dots, t_n que se han considerado en la ley temporal, eran cualesquiera: en particular, no se han supuesto que estos instantes sean ordenados. Además, tomada la molestia de precisar que la variable t representa el tiempo, el buen sentido impone tener en cuenta la naturaleza física particular de esta variable.

Si se observa el sistema en el instante t_0 , se puede considerar que se conocía su pasado ($t \leq t_0$) y que se ignora y se trata de conocer, su futuro.

De aquí el interés que tendrá el conocer las probabilidades del tipo:

.....

$$2) \{ Pr \{ X(t) \in e / X(\theta_1) \} \} = x_1, \dots, X(\theta_n) = x_n$$

con $\theta_1 < \dots < \theta_n < t \ (n \geq 1)$

Entendiéndose aquí que el signo / significa "tal que".

Se llamará ley temporal condicionada al conjunto de probabilidades (2) (conocer la probabilidad de $X(t) \in e$, conocido X_n).

Teniendo en cuenta que por aplicación del axioma de las probabilidades compuestas, que se enuncia recordándolo:

$$Pr \{ A \text{ y } B \} = Pr \{ A \} \cdot Pr \{ B/A \}$$

o de otro modo:

$$Pr \{ B/A \} = \frac{Pr \{ A \text{ y } B \}}{Pr \{ A \}}$$

Las probabilidades condicionadas (2) pueden ser calculadas a partir de las probabilidades (1) ya que estas últimas se suponen conocidas tanto para los instantes $\theta_1, \dots, \theta_n$, como para los instantes $\theta_1, \dots, \theta_n, t$.

Recíprocamente, surge la tentación de afirmar que el conocimiento de las probabilidades (2), así como de un valor particular $X(t_0) = x_0$ o bien, en rigor, de la ley $X(t_0)$ lleva consigo el de las probabilidades (1) haciendo intervenir los instantes superiores a t_0 .

Si la evolución del sistema comienza en t_0 , es posible contentarse con las probabilidades (2). Si, por el contrario, se considera que la evolución es desde $-\infty$ es necesario dar, además de la ley temporal condicionada, las probabilidades:

$$(3) \quad Pr \{ X(t) \in e \} \quad (\text{Ley temporal a priori}).$$

por lo menos sobre toda la semirrecta $(-\infty, t_0)$

Al conjunto de las probabilidades (3) se le llamará ley temporal a priori.

Los datos de (2) y (3) equivalen a los de (1). Nótese, además, que (3) ofrece el peligro de aportar datos sobrantes. Es necesario, pues, que se satisfaga una condición evidente de coherencia entre (2) y (3).

3. Caso particular de los procesos de Markov.

...
Prestando atención al conjunto de las probabilidades (2) qué particularidades pueden presentar (2). Por definición.

$$\Pr \{X(t) \in e / X(\theta_1) = x_1, \dots, X(\theta_n)\} = X_n$$

representa la probabilidad de que X tome en el instante t un valor perteneciente a e, subconjunto de Ω , conociendo los valores x_1, \dots, x_n , que ha tomado en los instantes $\theta_1, \dots, \theta_n$ anteriores a t.

El caso más particular sería evidentemente aquel en que esta probabilidad no dependiera de x_1, \dots, x_n , es decir, en el que se tendría idénticamente, cualesquiera que fuesen los valores de x_1, \dots, x_n anteriores a t:

$$\Pr \{X(t) \in e / X(\theta_1) = x_1, \dots, X(\theta_n) = x_n\} = \Pr \{X(t) \in e\}$$

Se reconoce en el segundo miembro una probabilidad del tipo (3), es decir, una probabilidad a priori. Este caso es aquel en que la ley temporal condicionada se confunde con la ley temporal a priori, es decir, aquel en que el conocimiento del pasado de (Z) no da ninguna información respecto a su futuro. ^{1/}

Este caso, el más particular, es ciertamente el más rico en propiedades, pero también el menos interesante en la práctica, pues estas condiciones de independencia se cumplen rara vez.

Un caso algo menos particular es aquel en que el conocimiento del estado del sistema en los instantes consecutivos $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{n-1}, \theta_n$ anteriores a t, aporta en cuanto al conocimiento de su estado en t una cierta información, pero contenida por entero en el conocimiento de su estado en el instante más reciente: θ_n .

Dicho de otra forma, todo el pasado de la evolución del sistema se encuentra resumido en el estado del último instante que se conoce.

También se dice que el sistema es sin memoria. Una vez que el sistema ha llegado en el instante θ_n al estado x_n , poco importa cómo lo ha hecho en lo que respecta a predecir su futuro.

Una evolución que tenga esta propiedad se llama un Proceso de Markov.

^{1/} Suele llamarse a estos procesos, procesos puramente aleatorios.

$$\dots$$
$$\Pr \left\{ X(t) \in e \mid X(\theta) = \xi \right\}$$

Se puede escribir $P(t, e; \theta, \xi)$ suceso de transición (estado).

$$\Pr \left\{ X(t) \in e \mid X(\theta_1) = x_1, \dots, X(\theta_n) = x_n \right\} = \Pr \left\{ X(t) \in e \mid X(\theta_n) = x_n \right\}$$

Es incorrecto, y a la vez falso, decir que "un proceso de Markov es un proceso tal que, dada una serie de instantes consecutivos $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, t$, $X(t)$ no depende más que del valor que toma $X(\theta_n)$ ".

En efecto, este último valor depende a su vez del tomado por $X(\theta_{n-1})$, etcétera.

Un ejemplo particularmente significativo, y ya mencionado anteriormente, lo suministra la mecánica racional al decir que el pasado del movimiento de un punto material está resumido, en cuanto a su ulterior evolución, por el dato de su estado (posición y velocidad) en el instante inicial.

FUENTE: Patrik Gordon
"Cadenas Finitas de Markov y sus aplicaciones".
Editorial Hispano Europea,
Colección E. S. A. D. F., 1967.

En este libro, se encontrará además, información de sumo interés respecto a nociones como a) sucesos repetitivos, b) teoría de sucesos repetitivos, c) Estudio de matrices estocásticas, d) Comportamiento asintótico de matrices de probabilidad, e) regularidad de sucesos; f) Inversión del tiempo en cadenas de Markov, g) Nociones límites en el sentido de Cesaro h) matrices biestocásticas y tiempos de retorno y de primer paso i) Generalidades sobre los procesos de Markov homogéneos en el tiempo y con número finito de estados (nociones que trascienden fuera de los límites del presente trabajo de introducción).

Es pertinente hacer notar que el término ergodicidad, o propiedad de ergodismo, como la concreta O. Lange en su libro "Los todos y las partes", es aplicable a los procesos estocásticos, sean o no markovianos.

En un sistema estable el desarrollo tiende a cierto estado independiente del estado inicial del sistema, por ejemplo, al estado de equilibrio. La estabilidad del sistema descansa precisamente en esto. En el caso general de procesos ergódicos, el desarrollo del sistema tiende a conformarse a una ley determinada de desarrollo independiente del estado inicial del sistema.

Denótese mediante \hat{X}_t y \hat{Y}_t funciones vectoriales de tiempo independientes del estado inicial del sistema. Estas funciones expresan una cierta ley de desarrollo para los estados de entrada y salida del sistema. Sean X_t y Y_t , igual que antes, las funciones vectoriales de tiempo que constituyen una solución a la ley de desarrollo del sistema. Estas funciones representan el desarrollo real del sistema en el tiempo, el cual, como se sabe, depende del estado del sistema en ciertos momentos iniciales. El desarrollo del sistema es un proceso ergódico si

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X_t = \hat{X}_t \quad (1)$$

y

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y_t = \hat{Y}_t \quad (2)$$

Puede verse fácilmente que la expresión de estabilidad de un sistema es un caso especial de la expresión dada para un proceso ergódico. Este caso especial ocurre cuando $\hat{X}_t = \bar{X} = \text{const.}$ y $\hat{Y}_t = \bar{Y} = \text{const.}$

Las funciones \hat{X}_t o \hat{Y}_t serán denominadas las funciones de dirección del desarrollo del sistema. Denótese ahora por ΔX_t y ΔY_t la desviación de los estados de entrada y salida en el momento t a partir de los valores de la función de dirección del sistema. Estos valores serán denominados norma del estado del sistema y cualquier desviación respecto de la norma será llamada perturbación. Entonces se define una perturbación como:

$$\Delta X_t = X_t - \hat{X}_t \quad (3)$$

y

$$\Delta Y_t = Y_t - \hat{Y}_t \quad (4)$$

La definición de un proceso ergódico, (1) y (2) puede, por lo tanto, ser expresada en la forma

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta X_t = 0 \quad (5)$$

y

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta Y_t = 0 \quad (6)$$

Las dos expresiones son, equivalentes. Esto significa que en un proceso ergódico cualquier perturbación al desarrollo del sistema

desaparece con el tiempo.

La definición recién mencionada de un proceso ergódico permite encontrar las condiciones que los acoplamientos de los elementos del sistema deben satisfacer para que el desarrollo del sistema sea un proceso ergódico. La perturbación ΔX_t o ΔY_t , si es pe queña, satisface las fórmulas:

$$\text{Acción repentina: } \Delta X_t + \vartheta = \left[\frac{\partial R}{\partial X_t} \right]_{X_t = \hat{X}} \Delta X_t \quad \text{a)}$$

Y en el caso de acción gradual:

$$\Delta X_t = \sum_{\tau=0}^{\vartheta} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_{t-\tau}} \right]_{X_{t-\tau} = \hat{X}} \Delta X_{t-\tau} \quad \text{b)}$$

o:

$$\Delta X_t = \int_0^{\vartheta} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_{t-\tau}} \right]_{X_{t-\tau} = \hat{X}} \Delta X_{t-\tau} d\tau \quad \text{c)}$$

Obtenidas a favor de la ley de desarrollo de los sistemas, expues to ésto en el punto g) del parágrafo A de este anexo.

(El símbolo

$$\left[\frac{\partial R}{\partial X_t} \right]_{X_t = \hat{X}} \quad \text{o} \quad \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_{t-\tau}} \right]_{X_{t-\tau} = \hat{X}}$$

denota una matriz funcional (jacobiana) cuyos elementos asumen valores que corresponden al estado de equilibrio), con tal que la matriz funcional asuma vlores correspondientes a la norma es - decir, a los valores de la función de dirección, en el momento - de la perturbación. Denótese este momento por $t = z$. Se tie- ne entonces que

$$\Delta X_{t+\vartheta} = \left[\frac{\partial R}{\partial X_t} \right]_{X_t = \hat{X}_z} \Delta X_t \quad (7. a)$$

$$\Delta X_t = \sum_{\tau=0}^{\vartheta} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_{t-\tau}} \right]_{X_{t-\tau} = \hat{X}_{z-\tau}} \Delta X_{z-\tau} \quad (7. b)$$

y

$$\Delta X_t = \int_0^{\vartheta} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_{t-\tau}} \right]_{X_{t-\tau} = \hat{X}_{z-\tau}} \Delta X_{t-\tau} d\tau \quad (7. c)$$

en lugar de la fórmulas a), b) y c).

Se encuentra, por tanto, que la condición (necesaria y suficiente) para que el desarrollo del sistema sea un proceso ergódico es - el carácter negativo definido de la matriz:

$$\left[\frac{\partial R}{\partial X_t} \right]' \left[\frac{\partial R}{\partial X_t} \right] X_t = \hat{X}_z \quad - 1 \quad (8. a)$$

o de las propiedades adecuadas de la matriz

$$\sum_{\tau=0}^{\infty} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_t - \tau} \right]' \sum_{\tau=0}^{\infty} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_t - \tau} \right] X_t - \tau = \hat{X}_z - \tau \quad (8. b)$$

$$\int_0^{\infty} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_t - \tau} \right]' d\tau \int_0^{\infty} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_t - \tau} \right] d\tau X_t - \tau = \hat{X}_z - \tau \quad (8. c)$$

Esto lleva a conclusiones similares a aquellas del caso de la estabilidad de un sistema. Únicamente un sistema que posea al menos un acoplamiento en retroalimentación puede desarrollarse ergódicamente; un sistema sin acoplamiento en retroalimentación es neutro. Más aún, para que el desarrollo del sistema sea un proceso ergódico, los acoplamientos en retroalimentación deben tener ciertas propiedades, a saber, deben ser tales que la condición (8) sea satisfecha. Tales acoplamientos en retroalimentación serán denominados, como en el caso de la estabilidad de un sistema, compensatorios. Los acoplamientos en retroalimentación compensatorios reducen la perturbación en el desarrollo de un sistema y, con el tiempo, conducen a la desaparición de las perturbaciones.

Los acoplamientos en retroalimentación compensatorios en un sistema que se desarrolla ergódicamente serán también denominados controles de conducción o, simplemente, conducciones del sistema. La tendencia de desarrollo de los sistemas hacia su norma, es decir, a su función de dirección o, dicho de otra manera, la desaparición de perturbaciones en el curso del desarrollo, será denominada autoconducción del desarrollo del sistema. La autorregulación de un sistema estable es un caso particular de autoconducción de desarrollo: ocurre cuando las funciones de dirección son de la forma $\hat{X}_t = \text{const.}$, y $\hat{Y}_t = \text{const.}$

El valor de la matriz funcional que aparece en las ecuaciones diferenciales o integrales (7) depende del valor de la función de dirección en el momento $t = z$, esto es, en el momento en que ocurre la perturbación ΔX_t . Por lo tanto, el determinante en la ecuación característica depende también del momento de tiempo $t = z$. En consecuencia, las raíces de la ecuación característica dependen también del momento $t = z$ y son funciones del parámetro z ; se les expresa entonces por la forma $\lambda_j(z)$. La función vectorial ΔX_t del tiempo, la cual constituye la solución de las ecuaciones (7), es, por lo tanto, de la forma

$$\Delta X_t = \sum_j K_j(z) [\lambda_j(z)]^t \quad (9)$$

Los coeficientes K_j dependen asimismo del parámetro z y por esta razón puede escribirse $K_j(z)$. La función ΔX_t tiende a cero si todos los $\lambda_j(z) < 1$, lo cual sucede cuando se cumple la condición (8). Según que $\lambda_j(z)$ sea real o complejo, las componentes de la función (9) son monotónicas u oscilatorias. Los procesos ergódicos pueden ser ilustrados simbólicamente por un diagrama bidimensional como en las figuras A y B.



Figura A

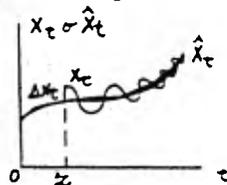


Figura B

La figura A representa una desaparición monotónica y la figura B una oscilatoria de una perturbación ΔX_t que ocurre en el momento $t = z$. En estas figuras, \hat{X}_t es la función de dirección del desarrollo del sistema y la función X_t representa el desarrollo real del sistema en el tiempo. La función X_t , que representa el desarrollo del sistema en el tiempo es la solución a las ecuaciones vectoriales diferenciales o integrales (7). Por esta razón, su forma depende de los estados de entrada en ciertos momentos iniciales de tiempo.

De igual modo, la forma de la función Y_t depende de los estados de salida en ciertos momentos iniciales. La clase de los valores de los estados iniciales del sistema (o sea de los estados de entrada o salida) para los cuales la función X_t tiende a la función de dirección \hat{X}_t , o Y_t tiende a \hat{Y}_t , constituye el dominio de ergodicidad del desarrollo del sistema. Las perturbaciones que implican estados del sistema dentro del dominio de ergodicidad desaparecen con el tiempo mientras que las perturbaciones que implican estados del sistema fuera de ese dominio no desaparecen, pero ejercen una influencia duradera en el desarrollo del sistema. El dominio de ergodicidad puede, por lo tanto, ser descrito también como el dominio de perturbaciones transitorias y el conjunto de estados iniciales del sistema que no pertenecen a ese dominio pueden también ser descritos como el dominio de perturbaciones duraderas.

Si el desarrollo del sistema es un proceso ergódico, entonces, -- por definición, el dominio de ergodicidad es un cierto dominio en la vecindad de la función de dirección \hat{X}_t o Y_t . Este es denominado dominio de ergodicidad "pequeño", es decir, para perturbaciones pequeñas. Para poder determinar el tamaño del dominio de ergodicidad es necesario investigar las condiciones para el dominio de ergodicidad "grande" o sea encontrar que tan grandes pueden ser las perturbaciones sin que la ergodicidad del proceso sea afectada.

Para este propósito se recuerda que las ecuaciones en diferencia - o integrales (7) han sido derivadas para perturbaciones ΔX_t pequeñas. Si estas ΔX_t son grandes, entonces en vez de (7) se debe escribir.

$$\Delta X_t + \theta = \left[\frac{\partial R}{\partial X_t} \right]_{X_t} = \hat{X}_z \Delta X_t + \Phi (\Delta X_t) \quad (10. a)$$

$$\Delta X_t = \sum_{\tau=0}^{\theta} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_t - \tau} \right] X_t - \tau = \hat{X}_z - \tau \Delta X_t - \tau + \sum_{\tau=0}^{\theta} \Phi (\Delta X_t - \tau) \quad (10. b)$$

$$\Delta X_t = \int_{\tau=0}^{\theta} \left[\frac{\partial R(\tau)}{\partial X_t - \tau} \right] X_t = \hat{X}_z - \tau \Delta X_t - \tau d\tau + \int_0^{\theta} \Phi (\Delta X_t - \tau) d\tau \quad (10. c)$$

Las funciones $\Phi (\Delta X_t)$ o $\Phi (\Delta X_t - \tau)$ en los miembros derechos de estas expresiones pueden ser transformadas en funciones vectoriales cuyos argumentos son los valores absolutos de las componentes del vector ΔX_t o $\Delta X_t - \tau$. Una función así transformada se denota por $V (|\Delta X_t|)$ o $V (|\Delta X_t - \tau|)$. Se tiene, por lo tanto, que

$$\Phi (\Delta X_t) = V (|\Delta X_t|) \text{ y } \Phi (\Delta X_t - \tau) = V (|\Delta X_t - \tau|) \quad (11)$$

Si el desarrollo del sistema es un proceso ergódico, entonces el dominio (el conjunto de valores ΔX_t o $\Delta X_t - \tau$) en el cual

$$\lim_{t \rightarrow \infty} V = 0 \quad (12)$$

es el dominio de ergodicidad del desarrollo del sistema^{2/} En virtud de que en este dominio la función $\Phi (\Delta X_t)$ o $\Phi (\Delta X_t - \tau)$ tiende a cero y las ecuaciones (10) convergen a las ecuaciones (7), su solución, como se ha supuesto representa un proceso ergódico.

^{2/} En vez de definir V como una función vectorial de los valores absolutos de las componentes del vector ΔX_t o $\Delta X_t - \tau$, se puede también definir V como una función de $(\Delta X_t)^2$ o $V [(\Delta X_t - \tau)^2]$. La función $V [(\Delta X_t)^2]$ o $V [(\Delta X_t - \tau)^2]$ así definida es una función de la distancia euclidiana del estado del sistema respecto a su norma, es decir, del valor de la función de dirección en el mismo momento de tiempo. El uso de tal definición está en regla con el procedimiento empleado por Lyapunov al investigar la estabilidad "en lo grande" de soluciones de ecuaciones diferenciales. Por lo tanto, la función Φ es el segundo término en la expansión de Taylor y es igual a

$$\Phi = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 R}{\partial X_t^2} \right]_{X_t} = \hat{X}_z (\Delta X_t)^2 \text{ o } \Phi = \frac{1}{2} \sum_{\tau=0}^{\theta} \left[\frac{\partial^2 R(\tau)}{\partial X_t^2} \right]_{X_t - \tau} (\Delta X_t - \tau)^2$$

o, finalmente,

$$\Phi = \frac{1}{2} \int_0^{\theta} \left[\frac{\partial^2 R(\tau)}{\partial X_t^2} \right]_{X_t - \tau} (\Delta X_t - \tau)^2 d\tau$$

En virtud de esto, se puede escribir inmediatamente $V = \Phi$

Además de la cuestión del dominio de ergodicidad del desarrollo del sistema, existe también aquella sobre la duración de la ergodicidad. Como puede observarse en (9), la función ΔX_t que constituye la solución de las ecuaciones vectoriales en diferencias o integrales (7) depende del parámetro z , esto es, del momento en el cual ocurre la perturbación. En particular, las raíces de la ecuación característica $\lambda_j(z)$ dependen de este parámetro. Estas raíces pueden ser tales que $\lambda_j(z) < 1$ para ciertos valores de z y $\lambda_j(z) > 1$ para otros valores de z . Si los elementos de la matriz funcional en las ecuaciones (7) son funciones continuas del tiempo, lo cual se supondrá para simplificar, entonces las raíces de la ecuación característica son funciones continuas del parámetro z . En consecuencia, un intervalo de tiempo $[t_1, t_2]$ puede ser definido en forma tal que $|\lambda_j(z)| < 1$ para valores de z que caen dentro de ese intervalo, esto es, para

$$t_1 \leq z \leq t_2 \quad (13)$$

El intervalo de tiempo así definido será denominado duración de la ergodicidad del desarrollo del sistema. Si este intervalo es $-\infty < z < \infty$, se dirá que el proceso de desarrollo del sistema es permanentemente ergódico, mientras que si el intervalo es finito, se dice que el proceso es transitoriamente ergódico. Un proceso puede ser también transitoriamente ergódico unilateralmente, por ejemplo, cuando $-\infty < z \leq t_2$ o $t_1 \leq z < \infty$.

Un sistema transitoriamente ergódico puede adquirir y perder ergodicidad de dos maneras. Una de ellas es cuando los $|\lambda_j(z)|$ son todos iguales a cero para $z < t_1$ o $z > t_2$, esto es, antes o después de la duración de la ergodicidad. El sistema se transforma entonces de neutro a un sistema que se desarrolla ergódicamente o, por el contrario, de un sistema que se desarrolla ergódicamente a un sistema neutro. Metafóricamente, esto puede ser expresado diciendo que un sistema que se desarrolla ergódicamente surge de un sistema "muerto", o que un sistema ergódico se transforma en uno "muerto". La segunda manera es cuando $|\lambda_j(z)| \geq 1$ para una o más raíces de la ecuación característica, antes o después de la duración de la ergodicidad. Cuando $|\lambda_j(z)| = 1$, el sistema cambia de un sistema casi estable a uno que se desarrolla ergódicamente o viceversa. Cuando $|\lambda_j(z)| > 1$ antes o después de la duración de la ergodicidad, cada perturbación antes o después de ese tiempo causa que el estado del sistema se aleje acumulativamente de la función de dirección de desarrollo del sistema. Se dice que un proceso que se aleja acumulativamente de la función de dirección del sistema es antiergódico.

La limitación en cuanto al tiempo de la ergodicidad del proceso de desarrollo del sistema se debe al hecho de que la matriz que aparece en la condición de ergodicidad (8) y la matriz traspuesta que aparece ahí son funciones de tiempo. Los elementos de esas

matrices son derivadas de las transformaciones R_{rs} que conectan la entrada del elemento E_s con la entrada del elemento E_r . Estas son derivadas del tipo $\frac{\partial R_{rs}}{\partial X_t(r)}$ o $\frac{\partial R_{rs}}{\partial X_t(r-\tau)}$, donde ----

$$r = 1, 2, \dots, N; r \neq s.$$

Estas derivadas dependen del estado de las entradas en un momento dado, a saber, en los momentos t o $t - \tau$. En las matrices \bar{R} que aparecen en (8), los estados de entrada tienen el valor de la función de dirección en el momento $t = z$ o $t - \tau = z - \tau$.

De este modo, en diferentes momentos de tiempo z estas derivadas tienen valores diferentes y, por lo tanto, los elementos de \bar{R} las matrices que aparecen en (8) tienen también valores diferentes. En consecuencia, la expresión (8) puede satisfacer las condiciones de ergodicidad en ciertos momentos z , mientras que en algunos otros momentos puede no hacerlo. De aquí se sigue que es posible tener $|\lambda_j(z)| < 1$ en ciertos momentos de tiempo z y $|\lambda_j(z)| \geq 1$ en otros momentos.

En particular, puede suceder que, fuera de cierto intervalo de tiempo, los valores de las derivadas por encima de la diagonal de la matriz sean cero. Entonces, fuera de este intervalo de tiempo, el sistema no tiene acoplamientos en retroalimentación y es un sistema neutro. Puede suceder también que fuera de cierto intervalo de tiempo los valores de las derivadas sean tales que la matriz (8. b) y (8. c) pierdan las propiedades requeridas para la ergodicidad. Entonces los acoplamientos en retroalimentación en el sistema dejan de ser compensatorios y todas las perturbaciones causan un proceso acumulativo del estado del sistema que se aleja cada vez más de la función de dirección, esto es, el proceso se hace antiérgódico.

Debe darse atención a la velocidad con la cual la perturbación desaparece en el desarrollo de un proceso érgódico; en otras palabras, la velocidad con la cual el sistema regresa a la norma -- después de una perturbación. A partir de (9) se encuentra que -

$$\frac{d}{dt} \Delta X_t = \sum_j K_j(z) [\lambda_j(z)]^{t-1} |\log \lambda_j(z)| \quad (14)$$

donde $|\log \lambda_j(z)|$ es un logaritmo natural.

De aquí se desprenden varias conclusiones. Si, en la vecindad de las cotas (o cota) de duración de la ergodicidad del desarrollo del sistema los valores $|\lambda_j(z)|$ convergen monotónicamente a la unidad según z se aproxima al margen, entonces $\log |\lambda_j(z)|$ converge monotónicamente a cero. De aquí que, como puede verse en (14) la velocidad de desaparición de las perturbaciones converge también a cero. Las perturbaciones en el proceso de desarrollo del sistema duran más y más, el estado del sistema regresa más

y más lentamente a la norma, esto es, al estado determinado por la función de dirección del desarrollo del sistema. Si esto ocurre a medida que se llega más cerca de la cota superior de duración de la ergodicidad del desarrollo del sistema, puede decirse metafóricamente que el sistema está "envejeciendo" su autoconducción se torna lenta y perezosa. Si por otro lado, esto sucede cuando ocurre un acercamiento a la cota inferior de duración de la ergodicidad se puede decir que el sistema es crecientemente "Inmaduro" y que la autoconducción de su desarrollo todavía no se ha "aflojado".

Lo mismo sucede si, a medida que z se aproxima a la cota de duración de la ergodicidad $\lambda_j(z)$ converge monotónicamente a cero. En este caso $\lambda_j(z) \log |\lambda_j(z)|$ también converge a cero y se obtiene el resultado recién descrito 3/. Así que, cuando el sistema se aproxima monotónicamente al estado neutro y cuando se aproxima monotónicamente al estado cuasi estable, la autoconducción de su desarrollo trabaja más y más lentamente.

La "maduración" del sistema, o sea el "aflojamiento" de su autoconducibilidad, y su "envejecimiento" pueden manifestarse no solamente como un cambio en la velocidad a la que desaparecen las perturbaciones en el proceso de desarrollo. Pueden manifestarse también en un cambio del dominio de la ergodicidad del desarrollo del sistema. Este dominio, está dado por el conjunto de valores del vector X_t o $X_{t-\tau}$ para los cuales (12) es cierto, por ejemplo, por el dominio de convergencia de la función vectorial $V(|\Delta X_t|)$ o $V(|\Delta X_{t-\tau}|)$. Esta función, como regla, depende del parámetro z , en razón de que contiene derivadas de mayor orden de las transformaciones R_{rs} (o $R_{rs}(\tau)$ con respecto a $x_t^{(r)} = x_z^{(r)}(x_{t+\tau}^{(r)}) = X_Z - \tau^{(r)}$ ($r, s = 1, 2, \dots, N; r \neq s$).

El dominio de ergodicidad del desarrollo del sistema depende por lo tanto, del parámetro z , esto es, del momento de tiempo en que ocurre la perturbación.

3/ Se expresa $\lambda(z) \log |\lambda(z)|$ en la forma

$$\frac{\log |\lambda(z)|}{[\lambda(z)] - 1}$$

Denotando la derivada por " ' " y empleando la regla de L'Hopital, se tiene:

$$\lim_{\lambda(z) \rightarrow 0} \frac{[\log |\lambda(z)|]'}{[\lambda(z)]' - 1} = \lim_{\lambda(z) \rightarrow 0} \frac{1/|\lambda(z)|}{-[\lambda(z)]^{-2}} = - \lim_{\lambda(z) \rightarrow 0} \lambda(z) = 0$$

Si la ergodicidad del desarrollo del sistema está limitada en el tiempo, puede suceder que el dominio de ergodicidad cambie en cierta manera específica. Por ejemplo, puede ser muy pequeño al principio de la duración de ergodicidad del desarrollo del sistema, crecer con el tiempo y posteriormente decrecer otra vez y converger a cero hacia el final de la duración de la ergodicidad. En tal caso hay un cambio en la resistencia del desarrollo del sistema a perturbaciones mayores. Un sistema "muy joven" es resistente solamente a perturbaciones pequeñas, pero a medida que "madura", el sistema adquiere resistencia a las perturbaciones mayores, por último, un sistema que "envejece" pierde gradualmente su resistencia a las perturbaciones cada vez más pequeñas hasta que, al final, pierde toda resistencia.

Por lo tanto, la magnitud de las perturbaciones a las cuales el sistema es resistente (el dominio de ergodicidad de su desarrollo) así como la tasa o ritmo al cual el sistema retorna después de una perturbación, puede variar en el curso de duración de la ergodicidad del desarrollo del sistema.

En un medio ambiente que produce perturbaciones grandes y frecuentes, muchos sistemas pierden el carácter ergódico de su desarrollo. Estos son en particular sistemas tales que no han tenido suficiente tiempo para "madurar", para "aflojar" su autoconducción, así como sistemas que a causa de su "vejez" o por alguna otra razón tienen poca resistencia contra perturbaciones. De esta manera opera una selección natural: permanecen solamente aquellos procesos ergódicos de desarrollo (y los sistemas correspondientes) que son en alto grado resistentes a las perturbaciones, por ejemplo, procesos con un gran dominio de ergodicidad y veloz desaparición de las perturbaciones. Tales procesos y sistemas están en cierto sentido "ajustados" al medio ambiente; su autoconducción es eficiente en las condiciones de un medio determinado.

La existencia de procesos ergódicos de autoconducción del desarrollo de sistemas explica los fenómenos a través de los cuales las falsas interpretaciones han llegado a ser la base del finalismo metafísico en la concepción de sistemas como todos. Tales interpretaciones son frecuentes, especialmente en relación a los fenómenos biológicos. Tales fenómenos como el organismo que tiende a cierto estado (homeostasis), la regeneración, el organismo que supera las perturbaciones en su desarrollo, constituyen la base de las interpretaciones finalísticas metafísicas de organismos como "todos". Existe el bien conocido argumento basado en los experimentos de Driesch con embriones de erizo marino. La eliminación de ciertas partes (aun tanto como tres cuartas partes) de un embrión durante su fase temprana de desarrollo es compensada durante etapas posteriores de desarrollo y emerge a la vida un erizo de mar completo. A partir de esto Driesch infirió que el desarrollo de un organismo es gobernado por una fuerza inmaterial --

guiadora, "entelequia", la cual imparte al organismo el carácter de un todo que se desarrolla de acuerdo a cierto "plan", de acuerdo a un propósito inmanente. Otras teorías neovitalísticas se refieren de manera semejante a la naturaleza "propósito-todista" de los organismos.

El tratamiento de la estabilidad y la ergodicidad del proceso de desarrollo de un sistema, el cual ha sido presentado aquí y que está basado en un análisis de los acoplamientos entre los elementos activos que conforman el sistema demuestra que los conceptos finalísticos metafísicos son innecesarios para explicar el desarrollo de sistemas.

La estabilidad de un sistema y la ergodicidad de su proceso de desarrollo son el resultado del modo de acción de los elementos del sistema y de los acoplamientos de los elementos, o sea, de la estructura del sistema. Como puede verse directamente de la condición (8) de ergodicidad del desarrollo del sistema (de la cual la estabilidad es un caso especial), los procesos ergódicos de desarrollo son el resultado de la ley de movimiento del sistema, la cual determina la ley y todas las propiedades de desarrollo del sistema. Como se sabe, la ley de movimiento del sistema se reduce al modo de acción de los elementos del sistema y a la estructura del mismo, o sea, la red de acoplamientos. El desarrollo ergódico ocurre cuando la estructura del sistema contiene acoplamientos compensatorios en retroalimentación que actúan como controles de conducción.

De la ley de movimiento del sistema es posible también derivar propiedades de procesos ergódicos de desarrollo tales como la existencia de un dominio de ergodicidad acotado $\frac{1}{2}$, la duración limitada de la ergodicidad del proceso de desarrollo, cambios en la velocidad con la cual el sistema retorna a la norma después de una perturbación, y también cambios en la resistencia de los sistemas a perturbaciones de magnitudes diferentes y los asociados al "envejecimiento" o "maduración" de sistemas, su "nacimiento y su muerte".

Todas estas propiedades, características de los procesos biológicos, aparecen también en todo tipo de procesos físicos y químicos, así como en los sociológicos y económicos. También aparecen en dispositivos automáticos construidos por el hombre. El aparato -

⁴ Por medio de una operación muy radical es posible matar el embrión y no crecerá un erizo marino. La perturbación llegó entonces más allá del dominio de ergodicidad del desarrollo del sistema. El hecho de que a veces nacen monstruos indica también que existe un dominio definido de ergodicidad en el proceso de desarrollo embrionario.

conceptual creado por la cibernética permite explicarlos sin acudir a los conceptos de un ser inmaterial que regula el curso de la naturaleza y del desarrollo social, de "fuerza vital", "entelequia", "entusiasmo vital", "espíritu del tiempo" o "espíritu de una nación", la "mano invisible" de Adam Smith, etc. Al mismo tiempo, esta explicación no niega el hecho empírico de que los sistemas poseen un modo de acción que no puede ser derivado de los meros modos de acción de los elementos que los componen, que poseen su propia ley de desarrollo y que, bajo ciertas condiciones, el desarrollo de sistemas es un proceso ergódico en el cual las perturbaciones en el desarrollo desaparecen con el tiempo y, por último, que la duración de la ergodicidad del proceso puede ser limitada, que puede variar también la velocidad con la cual las perturbaciones desaparecen y la magnitud de las perturbaciones a las cuales el sistema puede resistir.

BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

- 1) Chen, C. T. Introduction to Linear Systems Theory;
Capítulo 12 "Markovian Decision and Applications",
Hall, Rinehart and Winston Inc. Publishers, New York, 1970.
- 2) Greniewski, H.: Cibernética sin Matemáticas.
Capítulos I, II y III;
F.C.E., Breviarios, No. 186, México, 1965.
- 3) Gordon, P.: Cadenas Finitas de Markov y sus aplicaciones;
Capítulos I y IV;
Editorial Hispano Europea, Colección E. S. A. D. F., Madrid,
1967.
- 4) Lange, O.: Los Todos y las Partes: Una Teoría General de
Conducta de Sistemas: Capítulos, III, IV V, VI, VII, VIII y
IX.
Editorial F.C.E., México, 1975.
- 5) Lange, O.: Introducción a la Economía Cibernética.
Capítulos I, III, IV y V,
Editorial Siglo Veintiuno, Editores, S. A. Madrid, 1969.