

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
PROGRAMA ACADEMICO DE ECONOMIA



TESIS PARA OBTAR EL GRADO DE  
INGENIERO ECONOMISTA

MODELO DINAMICO PARA LOS PRECIOS DEL COBRE

PRESENTADO POR:  
LUZ EYZAGUIRRE GORVENIA

LIMA, JULIO DE 1983.

## ESQUEMA DE ESTUDIOS

### INTRODUCCION

#### I GENERALIDADES

- 1.1 DEFINICION DEL COBRE
- 1.2 SITUACION GEOGRAFICA
  - 1.2.1 En el Perú
  - 1.2.2 En el Mundo
- 1.3 PRECIOS Y MERCADO DEL COBRE
- 1.4 CARACTERISTICAS DE LA OFERTA Y DEMANDA A TRAVES DE LA HISTORIA-FACTORES
  - 1.4.1 En el Perú 1950 - 1980
  - 1.4.2 En el Mundo 1900 - 1980

#### II CONSIDERACIONES TEORICAS

- 2.1 ELEMENTOS DE LA DINAMICA DE SISTEMAS
  - 2.1.1 Breve Historia
  - 2.1.2 Nociones de Sistemas Dinámico-Variabes en el tiempo
  - 2.1.3 Diagrama Causales
  - 2.1.4 Diagrama de Forrester
  - 2.1.5 Las Ecuaciones del Modelo y su Programación

#### III MODELO DINAMICO PARA LOS PRECIOS DEL COBRE

- 3.1 MODELOS
- 3.2 VARIABLES RELEVANTES
- 3.3 DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS VARIABLES
- 3.4 DIAGRAMA CAUSAL PARA EL COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS
- 3.5 DIAGRAMA DE FORRESTER PARA EL COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS
- 3.6 APLICACIONES Y SU PROGRAMACION

#### IV ANALISIS ECONOMICO DEL MODELO PRESENTADO

- 4.1 INTERPRETACION ECONOMICA
- 4.2 SIMULACION
- 4.3 IMPORTANCIA DE LA MINERIA EN EL PERU

#### V CONCLUSIONES

## I N T R O D U C C I O N

El propósito de la investigación es elaborar un modelo de precios para el cobre, que permita conocer cual será la variación de su cotización a nivel internacional si es que varían factores tales como: oferta, demanda, stock, consumo, etc. y otras de naturaleza difícilmente cuantificables, aunque formaran parte de la estructura del modelo.

La variación de los precios de los metales es de suma importancia para las economías de los países en desarrollo; en el caso particular del cobre: Chile, Zambia, Zaire y el Perú dependen en gran medida de la explotación del metal rojo (1); el menor ingreso debido a un período de precios bajos podrá afectar seriamente sus actividades de desarrollo.

Se ve claramente entonces que el análisis del mercado internacional del cobre y los precios correspondientes son de mucha importancia ya que serán de gran ayuda para la planificación del desarrollo (2).

Por otro lado, la presente tesis tiene por finalidad mostrar una metodología de tratamiento de variables económicas tomadas en conjunto y presentando su interacción mutua, además de considerar la correspondiente variación en el tiempo. A este conjunto hemos dado el nombre Modelo Económico Dinámico, cuya base teórica reside en los conceptos de retroalimentación. A lo largo del presente trabajo, esta técnica es tomada como medio para analizar el comportamiento del mercado del cobre en relación a diversos factores que influyen en su precio.

No es nuestra finalidad cubrir todos estos aspectos, sino lograr las ba

ses matemáticas de la discusión de una estructura coherente desde la perspectiva de sistemas. Creemos que en éste campo no existen experiencias de éste tipo y por ello la modelación debe seguir directivas generales.

La presente tesis consta de cinco capítulos. El primer capítulo y el segundo tienen la finalidad de presentar el marco histórico de los precios del cobre en el mercado internacional y las consideraciones teóricas de la dinámica de sistemas que se ha de utilizar respectivamente.

En el tercer capítulo veremos los modelos que han de construirse. En la primera parte utilizaremos modelos econométricos "tradicionales" para las proyecciones a corto plazo. Luego usaremos la metodología dinámica desarrollada en esta tesis para construir un modelo más integrado. La validez de este modelo y por tanto de la tesis en general se comprobará verificando si duplica, con cierta aproximación el comportamiento real del sistema de precios ó los efectos que se producirán en él cuando varía algunos de los factores considerados.

En el capítulo cuarto se dará la interpretación económica del modelo y las respectivas simulaciones para enmarcar su utilización futura. Finalmente en el capítulo cinco daremos las conclusiones de la tesis. De esta manera buscamos construir un modelo de comportamiento para los precios del cobre de fácil manejo que nos permita conocer las variaciones de estos precios en el mercado internacional del cobre. La variación de los precios del cobre es de suma importancia para la economía peruana ya que esta depende en gran medida de las exportaciones

del metal rojo; una baja prolongada en sus cotizaciones significará un menor ingreso final y por lo tanto la paralización de actividades vitales para su crecimiento.

Asimismo, no negamos la existencia de limitaciones tales como información sesgada o variables en consideración; sin embargo, el presente trabajo es una aplicación nueva para la construcción de modelos dinámicos y que servirá de guía para investigaciones futuras en el campo económico.

(1) Economía Minera - Minero Perú Comercial-pág.81

(2) Desarrollo minero a largo plazo 1979 - 1980 y proyecciones al año 2,000 - Ministerio de Energía y minas.

## C A P I T U L O I

### I GENERALIDADES

El cobre es después del aluminio, el metal que más se consume en el mundo.

Su empleo estriba en el conjunto de propiedades químicas, físicas, eléctricas y mecánicas que posee y en su relativa abundancia.

Se utiliza principalmente para la fabricación de equipos y material eléctrico, lo que representa aproximadamente la mitad de la demanda.

El material de comunicaciones, incluido el de la electrónica, alambre y cable para teléfono y telégrafo representan otro mercado importante, lo mismo que la radio, la televisión y los aparatos electrodomésticos.

Según un estudio del CIPEC los datos del consumo del cobre se descomponen principalmente en cinco sectores; eléctrico (48%), construcción (17%), ingeniería (17%), transporte (10%) y bienes de consumo doméstico (8%).

El cobre también tiene aplicaciones en la fabricación de municiones, en joyería y en la acuñación de moneda (3).

En el Perú algunos de estos recursos lo constituyen sus grandes reservas minerales que deben ser explotadas con prioridad. Por ser un agente importante en la generación de divisas para el país, las mismas que permitirán importar los bienes de capital e insumos necesarios para nuestro desarrollo.

(3) Las aplicaciones descritas en "Copper and Brass Technology Guide" Metals Week, dic 1967.

## I.1 DEFINICION DEL COBRE

Su nombre se deriva del término latín "cuprum", por Cyprus, isla de donde fue obtenido por los romanos; denominándosele "cuprum". Por otro lado una definición más completa es la siguiente: "Metal rojizo de superficie brillante y lustrosa, dúctil, maleable y flexible. Es un buen conductor del calor, y su propiedad física más importante - es su alta conductividad eléctrica". (4).

Se le encuentra en la naturaleza al estado nativo. Asimismo, existe en cantidades considerables formando diversos compuestos con azufre, fierro, oxígeno y carbonatos. Los minerales de cobre más abundantes y de mayor importancia comercial son la calcopirita (sulfuro de cobre y fierro), calcocita (sulfuro cuproso), enargita (sulfoarseniuro de cobre), cuprita (óxido cuproso), melaconita (óxido cuprico), y algunos otros como la atacamita, malaquita, azurita.

La importancia del cobre como metal industrial surgió a mediados del siglo XIX, cuando Michael Faraday desarrolló en 1831 el generador eléctrico y en 1840 Samuel Morse inventó el telégrafo. El rápido crecimiento de la industria eléctrica se debió en gran parte, a la propiedad que caracteriza al cobre; su alta conductividad de la corriente eléctrica.

(4) Nueva Enciclopedia Temática - Editorial Richards  
S.A. Panamá Tomo V. 1970

## 1.2 SITUACION GEOGRAFICA

### 1.2.1 SITUACION DEL COBRE EN EL PERU

La producción del cobre en el país es abundante, tanto en yacimientos en los cuales es el metal principal, como en asociación a menas de plomo, zinc y otros metales.

Los principales yacimientos cupríferos son del tipo diseminado y están ubicados en la Cordillera Occidental en relación genética con cuerpos intrusivos pertenecientes generalmente al Batolito Costanero. Son también importantes los criaderos en tectitas ubicadas en zonas de contacto entre sedimentos calcáreos y rocas intrusivas. Se conocen, además, depósitos estratiformes en capas rojas. El metal se presenta también en yacimientos complejos del Perú central, en forma de vetas.

Los principales minerales de cobre de los yacimientos peruanos son calcopirita, calcocita, bornita, enargita, tetrahedrita y minerales oxidados.

En el Perú las zonas mineras notables por sus yacimientos cupríferos diseminados son:

La Faja Sur del País donde se ubican los depósitos de Toquepala, Quellaveco, Cuajone y Cerro Verde, Santa Rosa, en Tacna, Moquegua y Arequipa, respectivamente, además de otras en actual exploración, el área de Toromocho en Junín.

La Faja cuprífera de la Cordillera Negra, donde se destacan Pashpap, Aguila y otros recientemente descubiertos.

La Faja Cañariaco-Las Vegas-Turmalina, en actual exploración en los departamentos de Lambayeque, Amazonas y Piura, y el yacimiento de Michiquillay en Cajamarca.

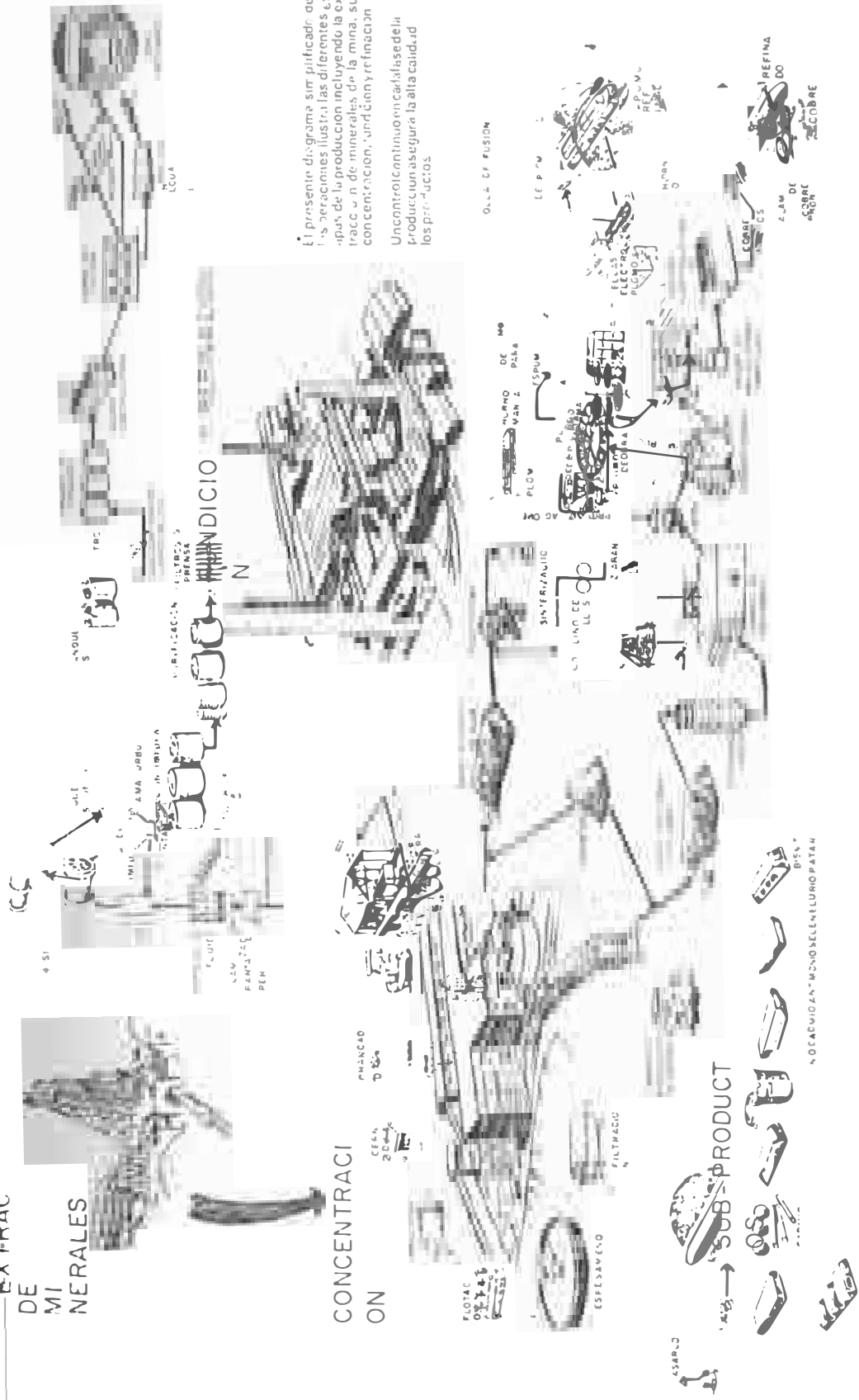
Entre los principales criaderos cupríferos en tectitas tenemos:

La Faja Quechuas-Tintaya-Katanga. En el Departamento del Cuzco (en esta zona se conoce, además el yacimiento disemi



EXTRACCIÓN DE MINERALES

CIJUN



El presente diagrama simplificado de las operaciones ilustra las diferentes etapas de la producción incluyendo la extracción de minerales de la mina, su concentración, unificación y fundición. Un control continuo en cada fase de la producción asegura la alta calidad de los productos.

TESIS DE GRADUACION

L.E.G.

nado de Corohuayco).

La Faja Ferrobamba-Chalcobamba en Apurímac, donde además existen otros yacimientos de este tipo.

Son también importantes los yacimientos de Cobre en Huanavelica, Antamina y Magistral en Ancash y el Area de Chumuch en Cajamarca.

También tenemos-Casapalca y Yauricocha de Centromin Perú. En Huampar: Colqui y el Camino y otras como San Juan, Pacococha, Raúl, Allpamarca, Santander y Uchuchacua que son productores de cobre en el departamento de Lima.

En Desaguadero (Puno) y Apurímac ocurren depósitos del tipo -estratiforme en capas rojas.

Existe un gran número de importantes yacimientos filoniosos, como los del distrito de Acari en Arequipa, y áreas similares en el departamento de Ica.

Los depósitos de minerales complejos sumamente importantes por su contenido de cobre son: Cerro de Pasco, Colquijirca y Huarón en el departamento de Junín y Quiruvilca en La Libertad.

En el cuadro número 1 podemos observar la producción nacional para el período 1950 - 1980 (cifras anuales).

En el cuadro número 2 se encuentra la producción de los principales estratos de la minería de cobre para 1980 en el Perú.

La información siguiente es estadística extraída del anuario de la minería de los años 1950 hasta 1980 del Ministerio de Energía y Minas.

PRODUCCION HISTORICA DEL COBRE POR  
TONELADA EN EL PERU

C U A D R O N° 1

AÑO	PRODUCCION (TM)	VARIACION PORCENTUAL
1950	30,100	.
1951	32,000	6.3
1952	30,400	5.0
1953	35,400	16.4
1954	38,400	8.4
1955	43,400	13.0
1956	46,400	6.9
1957	57,174	23.2
1958	53,619	-6.2
1959	50,686	-5.4
1960	181,721	258.5
1961	198,052	8.9
1962	165,400	-16.4
1963	180,100	8.8
1964	176,400	-2.0
1965	180,300	2.2
1966	176,400	-2.1
1967	192,000	8.8
1968	212,500	10.6
1969	198,800	-6.4
1970	220,200	10.7
1971	207,300	-5.8
1972	219,100	5.6
1973	202,700	-7.4
1974	211,593	4.3
1975	165,800	-21.6
1976	218,800	31.9
1977	326,600	49.2
1978	366,600	12.1
1979	441,400	20.4
1980	400,000	-9.3

FUENTE: Unidad de Estadística de Minería - MEM

CUADRO No. 2

PARTICIPACION DE LA PRODUCCION DE LA GRAN, MEDIANA Y PEQUEÑA  
MINERIA EN LA PRODUCCION MINERA TOTAL - 1981 \*

ESTRATO	COBRE		PLOMO		ZINC		PLATA		HIERRO	
	TMF	%	TMF	%	TMF	%	KG F	%	TMF	%
GRAN MINERIA	285.0	87.1	74.6	39.9	215.0	43.3	429.2	29.4	4034	100
MEDIANA MINERIA	38.8	11.8	90.0	48.2	257.4	51.8	1030.8	70.6		
PEQUEÑA MINERIA	3.8	1.1	22.1	11.8	24.3	4.9				
<b>TOTAL</b>	<b>327.6</b>	<b>100</b>	<b>186.7</b>	<b>100</b>	<b>496.7</b>	<b>100</b>	<b>1460</b>	<b>100</b>	<b>4034</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaborado en base a datos obtenidos en el Anuario Minero Comercial, 1981

\* Preliminares

PRODUCCION MINEFA DE LA  
GRAN MINERIA DEL COBRE 1960  
( TME )

	PRODUCCION	% GM	% TOTAL MINERIA
1.- <u>SPCC</u>	259,354	<u>80.4</u>	<u>70.7</u>
-Toquepala	106,759	33.1	29.1
-Cuajone	152,595	47.3	41.6
2.- <u>MINERO PERU</u>	33,273	<u>10.3</u>	<u>9.1</u>
-Cerro Verde	33,273	10.3	9.1
3.- <u>CENTROMIN</u>	30,085	<u>9.3</u>	<u>8.2</u>
- Cerro de Pasco	-	-	-
- Cobriza	18,596	5.8	5.1
- Casapalca	1,861	0.6	0.5
- San Cristóbal	824	0.2	0.2
- Morococha	3,835	1.2	1.0
- Yauricocha	4,969	1.5	1.3
<hr/>			
TOTAL GENERAL MINERIA	322,712	100 %	88
TOTAL NACIONAL	366,687		100%

FUENTE ANUARIO MINERO COMERCIAL 1961

PRINCIPALES PROYECTOS MINEROS DE COBRE

PROYECTOS	RESERVAS		PRODUCCION	INVERSION	Costo/Tm en Planta US \$	Capacidad Tratamiento TMD	TIPO YACI- MIENTO	SISTEMA DE EX- PLOT. A UTILIZAR	UBICACION
	M.L. TH	%							
I. DL MINERO PERU									
1. Cerro Verde II, Fase I	1,000	0.73 Cu	conc. 50,000	290.4	5,808	20,000	Sulfuros Cu.	Cielo Abierto	Arequipa
2. Tintaya *	29	2.24 Cu	conc. 50,000	241.3	4,826	8,000	Sulfuros Cu.	Cielo Abierto	Cuzco
3. Antamina, Etapa I	166	1.30 Cu	conc. 47,400 Cu	326.3		20,000	Polimetálico		Junín y Ancash
		1.10 Zn	25,500 Zn						
		0.48 Oz Ag	500 Mo						
		0.04 Mo	20.3 Ag						
4. Michiquillay	544	0.69 Cu	conc. 92,000	577.3	6,275	40,000	Cu		Cajamarca
5. Quellaveco	311	0.872 Cu	conc. 20,000	565	4,708	40,000	Pórfidos de Cu- Sulfuros.		Moquegua
6. Bureguela	13.6	1.08 Cu	conc. 5,000 Cu	137		4,000	Oxidos Mangane- so con alto con- tenido de Ag, Cu		Lambayeque
		3.86 Oz Ag.	3 mill/Oz Ag						
7. Las Bambas	50	2 Cu							Lambayeque
8. Cañariaco									Lambayeque
9. Corocolhuayco									Junín, Cuzco
10. La Granja									Lambayeque
11. Tambo Grande									Tarma
II. DE CENTROMIN									
1. Toromocho	354	0.751 Cu	conc. 54,000	227		20,000	Polimetálico	Cielo Abierto	Morococha, Junín
		0.145 Zn							
		0.013 Mo.							
		8.43 Gr. Ag.							

FUENTE Informe de situación de Proyectos del Sector Energía y Minas.

Oficina de Planificación, Ministerio de Energía y Minas, Julio 1981

MINERO PERU, 45% CENTROMIN y 10% COFIDE ( Posee también 10 mill. TM de óxidos, on 2.2% Cu )

### 1.2.2 SITUACION GEOGRAFICA DEL COBRE EN EL MUNDO

La producción mundial de cobre distribuido por áreas geográficas asigna un mayor porcentaje a los países de América, Africa y países socialistas. Naturalmente existen otras áreas en el mundo cuyos países tienen producciones significativas pero no representan potencias mundiales.

En el interior de estas agrupaciones, algunos países se constituyen como productores-exportadores, es el caso de Zaire y Zambia en el Africa, Chile y el Perú en América, otros países a pesar de ser grandes productores vuelcan toda su producción a satisfacer sus necesidades internas, es el caso de EE.UU., la Unión Soviética y algunos países del Area Socialista, se puede hacer todavía la diferenciación de un 3er. grupo, cuyos países aparte de ser grandes productores destinan buena parte de su producción al consumo interno y el sobrante lo exportan, entre estos podemos citar el Canada, Australia, Yugoslavia.

La producción mundial del cobre se muestra en el cuadro No.3 desde 1900 hasta 1980 y sus variaciones porcentuales por quinquenios.

De la producción mundial de cobre cerca del 40% proviene de los países sub-desarrollados, centrando su actividad en Chile, Perú, Zambia, Zaire (Congo), las Filipinas y Bougainville.

En el cuadro No.4 nos muestran los principales países productores de cobre en el mundo. Además podemos observar en el otro cuadro inferior a los países miembros del CIPEC (Consejo Intergubernamental de los países exportadores del Cobre).

Para el Perú se observa que las exportaciones de cobre tienden a aumentar, mientras que sus importaciones desaparecen.

Pero es importante preguntarse de donde provendrán tales volúmenes de cobre que el mundo va a requerir para entonces. Las reservas de cobre determinados en las diferentes partes del mundo arrojan los siguientes resultados, ver el cuadro No.5.

HISTORIA DE LA PRODUCCION MUNDIAL DEL COBRE

1900      1980

C U A D R O N° 3

AÑO	PRODUCCION (TM)	VARIACION PORCENTUAL
1900	425	.
1905	693	63.0
1910	872	25.8
1915	1'058	20.8
1920	967	-8.6
1925	1'410	45.8
1930	1'596	13.1
1935	1'467	-8.0
1940	2'397	63.3
1945	2'172	-9.3
1950	2'525	16.2
1955	3'112	23.2
1960	4'242	36.3
1965	4'963	16.9
1970	6'381	28.5
1975	7'317	14.6
1980	8'677	18.5

FUENTE: Metal Statistics 1900 - 1980 por Frank Fort Am Main



PRODUCCION DE MINA Y CONSUMO REFINADO\* (1971) E IMPORTACION POR PORCENTAJES

C U A D R O N°4

PRODUCCION DE MINA (1971) PRINCIPALES PRODUCTORES	PRINCIPALES CONSUMIDORES	CONSUMO REFINADO (1971)	MAYOR IMPORTADOR (% del total)	PORCENTAJES COBRE 1971 - 72	TASA CRECIMIENTO DE CONSUMO (1961 - 70)
Zaire	U.S.A.	1,829 (26%)	9	9.2	3.3
Zambia	U.S.S.R.	1,030 (14%)	0.5		
S. Africa	Japón	826 (11%)	21	14.2	8.1
Australia	W. Germany	631 (9%)	15	6.3	2.2
Phillipinas	Inglaterra	509 (7%)	11	2.4	-0.4
Rougaiville	Francia	343 (5%)	9	4.4	3.2
Chile	Italia	270 (4%)	7	-1.	-1
Perú	España	103 (1.4%)		17.0	7.0
U.S.A.	Holanda	42 (0.5%)		5.0	4.5
Canadá	Brasil	60 (0.8%)		8.7	10.4
	Méjico	60 (0.8%)	--	9.1	
	Belgica	113 (1.6%)			
	Suecia	91 (1.3%)			

FUENTE: VARIAS PUBLICACIONES (Comisión Mundial de Estadística de Metales)

Porcentajes del total de consumo mundial en paréntesis

\*Producción y consumo en miles de toneladas

PAISES MIEMBROS DEL CIPEC

PAISES	EXPORTACIONES DE COBRE COMO PORCENTAJE DEL TOTAL DE EXPORTACIONES (1970)*	EXPORTACIONES MUNDALES DE COBRE (1970) <sup>a)</sup>
Zambia	40	
Zaire	61	
Chile	66	
Perú	19	

FUENTE: AMARU E LAS NACIONES UNIDAS SOBRE COMERCIO MUNDIAL Y TRANSACCIONES DE LAS CUENTAS NACIONALES.

RESERVAS DE COBRE EN EL MUNDO

C U A D R O N°5

<u>PAISES:</u>	MILLONES TM
EE. UU.	97.1
Australia	8.2
Canadá	31.8
Chile	97.1
Papua Nueva Guinea	14.5
Perú	30.0
Otros de América	25.2
Filipinas	18.1
Sud-Africa	5.4
Zaire	23.6
Zambia	33.6
Otros países con economía de mercado	51.9
Polonia	12.7
Unión Soviética	36.3
Otros países socialistas	12.6
TOTAL	498.1

FUENTE Commodity Data Summaries 1979 Bureau of Mines.

### 1.3 PRECIOS Y MERCADO DEL COBRE

Existen dos mercados del cobre en el mundo relativamente independientes entre sí, el de EE.UU. y el de la Bolsa de Metales de Londres.

El mercado del cobre EE.UU. puede tener varias cotizaciones, las dos más importantes son: la de los productores internos y la del COMEX. También existen cotizaciones independientes como la de los negociantes de Nueva York, la de éstos ligeramente más alta que el COMEX, a cambio de lo cual, el comprador recibe WIREBARS en el lugar que le conviene en vez de lingotes en un depósito del COMEX.

En general el mercado del cobre ha estado indirectamente controlado por el gobierno, por la venta de parte de las reservas estratégicas, o bien, mediante el control de los precios de los metales no ferrosos. Este control se levantó el 30 de abril de 1974 dando lugar a cotizaciones un tanto desconcertantes: los precios internos y los de exportación se movieron en direcciones opuestas: los productores de EE.UU. subieron sus cotizaciones, mientras que en el COMEX bajaron durante el mismo período.

El mercado del cobre de Londres, el London Metal Exchange (LME), en cambio, refleja la oferta y la demanda del metal para los países de Europa. Su comportamiento es altamente especulativo provocando en cortos períodos grandes desniveles de precios, como sucedió en 1966 y en 1974.

El precio al contado del LME es el que sirve de base para las ventas de cobre y, con excepción de EE.UU. y Canadá, el precio interno de otros productores sigue la tendencia general de LME.

Se debe advertir que hasta que ocurrió la nacionalización o la expropiación de minas en Zaire, Zambia, Perú y Chile, para ser más precisos, durante la década del 60, sólo 6 compañías dominaban la producción y comercialización del cobre en el mundo: tres de EE.UU. dos de Gran Bretaña y una de Bélgica.

/

Los precios de estos mercados influyen entre sí debido a la intercomunicación que existe entre los mismo. Por regla general, el precio de productores es más estable que el de las Bolsas de Metales. Esto se debe a que las cotizaciones en las bolsas de metales están regidas por la oferta y la demanda de las operaciones diarias. Los productores - por sus propias funciones y con objeto de mantener sus mercados en el largo plazo efectúan cambios en los precios con mucha menor frecuencia. Se han dado períodos en que los precios de productores estaban muy por debajo de las Bolsas de metales, lo que algunos investigadores interpretan como una estrategia de evitar la sustitución del producto y por la integración vertical entre algunos productores de refinados y las empresas consumidoras del metal.

En las ventas que se realizan en el mercado norteamericano, generalmente se usa el precio de productos estadounidenses (US Producer Price-USPP). Hasta 1978, los productores estadounidenses fijaban sus precios concretamente como un cartel. Posteriormente, algunos productores de dicho país han cambiado este sistema fijando sus precios en función a la cotización COMEX. Las cotizaciones de productores así como las demás, son recogidas por revistas especializadas como el American Metal Market, el Metal Bulletin y el Metals Week.

Otro aspecto importante de las cotizaciones son los mercados de futuros en las bolsas. Estos mercados se utilizan tanto por los especuladores - que quieren obtener una ganancia como por aquellos que deseen evitar - una pérdida como consecuencia de fluctuaciones de precios entre el período de compra de un metal y el de la venta.

En la Bolsa de metales de Londres se puede comprar un futuro a 3 meses al precio establecido en el momento de la compra para dicho futuro. El precio del futuro debe ser en promedio igual al precio actual más el costo de almacenamiento y de intereses. Antes de transcurrir los 3 meses se puede vender el futuro que habrá variado de precio o se puede esperar que transcurran los 3 meses y recibir el metal. El COMEX funciona en forma similar pero se pueden comprar futuros hasta por 14 meses con entregas físicas solamente en Enero, Marzo, Julio, Setiembre, Octubre - y diciembre.

RELACION PRECIO TIEMPO DEL COBRE EN ¢ POR LIBRA  
(PRECIO PROMEDIO ANUAL)

AÑO	PRECIO CORRIENTE	AÑO	PRECIO CORRIENTE
1900	16.19	1926	13.79
1901	16.11	1927	12.92
1902	11.62	1928	14.57
1903	13.24	1929	18.11
1904	12.83	1930	12.98
1905	15.59	1931	8.12
1906	19.28	1932	5.55
1907	20.00	1933	7.03
1908	13.21	1934	8.43
1909	12.98	1935	8.65
1910	12.74	1936	9.47
1911	12.38	1937	13.17
1912	16.34	1938	10.00
1913	15.27	1939	10.96
1914	13.60	1940	11.30
1915	17.28	1941	11.80
1916	27.20	1942	11.77
1917	27.18	1943	11.77
1918	24.63	1944	11.77
1919	18.69	1945	11.77
1920	17.46	1946	13.82
1921	12.50	1947	20.96
1922	13.38	1948	22.04
1923	14.42	1949	19.20
1924	13.02	1950	21.24
1925	14.05		

FUENTE: World Bureau of Metal Statistics.

#### 1.4 CARACTERISTICAS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL COBRE A TRAVEZ DE LA HISTORIA - FACTORES

El cobre tiene muchas aplicaciones lo que hace que la industria del cobre este acompañada de una tendencia ascendente, implícita por el desarrollo económico y poblacional. Sin embargo ha tenido que afrontar altibajos propios del mercado del cobre que han afectado significativamente la demanda y oferta del producto.

Los precios del cobre influyen doblemente en el consumo. En primer lugar, el precio del se refleja, en los precios de los productos acabados que contienen dicho metal. Si los precios del cobre son altos, la demanda de los productos disminuirá. En segundo lugar, el cobre compete con otros materiales en muchas aplicaciones.

El más importante sucedáneo del cobre es el alumineo, aunque en algunas aplicaciones se puede utilizar el acero y las materias plásticas también en sustitución del cobre. El precio del cobre en relación con los precios de los materiales de sustitución es uno de los factores que intervienen al decidir que materias ha de utilizarse en un producto determinado.

La demanda del cobre también se verá afectada por los precios de dicho metal, particularmente en relación con los precios de materiales de sustitución tales como el alumineo. La diferencia entre los precios del cobre y del alumineo ha aumentado en el período de la pos-guerra. Sin embargo, durante los últimos años la relación entre los precios de ambos materiales parece haberse estabilizado. Cabe esperar que la sustitución por el alumineo afecte a la utilización de

cobre en la industria de equipo eléctrico (especialmente en la fabricación de cables de alto voltaje para el transporte de energía), y la industria del automóvil.

La producción de cobre aumentó constantemente durante el período de la pos-guerra en los países socialistas, mientras que disminuyó en los países desarrollados de economía de mercado.

Con el transcurso del tiempo, se ha ido explorando sucesivamente los yacimientos de cobre de más baja ley. A comienzos del siglo actual, no se exploraban los yacimientos con un contenido de cobre inferior al 3%. Actualmente, el límite se sitúa alrededor del 0.4%. Esta evolución ha sido posible gracias a la introducción de una nueva tecnología y el laboreo en gran escala.

Como resultado de la prospección y la exploración, las reservas de cobre han aumentado constantemente durante el período de la pos-guerra.

El desarrollo tecnológico ha reducido los costos de producción, con lo que ha permitido explorar económicamente nuevos recursos.

Aunque los costos de producción de una mina han disminuido en valor real durante el período de la pos-guerra, el costo marginal de la extracción del cobre ha aumentado, es decir, los costos de las minas con los costos de producción más elevados, han ido aumentando progresivamente. Este fenómeno es el resultado de la disminución del contenido de cobre en los yacimientos que se explotan actualmente.

Para poder analizar con más detalle estas variaciones en la producción y la demanda del cobre revisaremos las series cronológicas siguientes.

#### I.4.1

#### EN EL PERU

La minería en nuestro país ha sido una actividad practicada desde la época precolombina, durante la época incaica la extracción de los metales estuvo circunscrita al oro, la plata y el cobre.

Los incas lograron, mediante admirables e ingeniosos procesos de fundición y refinación, purificar el metal hasta superar el 99% de contenido fino, así como obtener bronce para utilizarlos en la elaboración de piezas artísticas y para forjar utensilios, herramientas y armas.

En la época colonial no se prestó mayor importancia a la explotación del cobre, prefiriéndose la plata y el oro.

En esta época se utiliza el cobre principalmente para fundir piezas de artillería y en pequeñas cantidades para la confección de monedas.

En el último cuarto de siglo XIX, con la fundación de la Escuela de Ingenieros en 1876 y la dación de la ley reformativa de las Ordenanzas de Minería en 1877, se estableció una nueva época en la tecnificación de la industria. Las enseñanzas y los conocimientos transmitidos así como las investigaciones efectuadas en la minería orientaron y fomentaron la actividad en este campo. Las razones mencionadas y la coincidente prolongación del ferrocarril central hasta la Oroya permitieron la iniciación de una nueva etapa en la minería del cobre, alcanzándose, antes de finalizar el siglo, una producción anual de diez mil toneladas de cobre fino.

Durante la primera mitad del siglo XX, con la Promulgación del código de Minería, la creación del Cuerpo de Ingenieros de Minas, la prolon-



gación del Ferrocarril hasta Cerro de Pasco y la instalación de nuevas plantas extractivas, fundiciones y refinerías de cobre en la zona central, se dió un nuevo impulso a la minería regional en las zonas de Casapalca, San Cristobal y Yauricocha.

En 1947, con la instalación de la refinería de la Oroya se inició en el Perú la producción de cobre refinado electrolítico.

El año 1950 se ha caracterizado por haberse acentuado el ritmo de resurgimiento de esta industria, debido a factores favorables, tanto de orden externo o internacionales. Entre los primeros tenemos: el cumplimiento del plan de reconstrucción económica mundial de post-guerra, el conflicto de Corea y el plan de rearme internacional, por haber determinado una mayor demanda de nuestros productos minero-metálicos de exportación y como consecuencia, una positiva mejora de sus cotizaciones en el mercado Internacional.

La producción de cobre en ese año fué de 29,930 TM que comparada con la obtenida en 1949 arroja un aumento de 1971 TM equivalente al 6.5%.

En el período comprendido entre 1960 y 1969 no se realizaron mayores inversiones. Uno de los factores que alejó al inversionista fue la incertidumbre política. A pesar de esto, el crecimiento de los precios del orden del 10% anual ocasionó un aumento de los ingresos por exportaciones mineras del 12% anual.

En 1968 el nuevo Gobierno militar introdujo profundos cambios en los sectores productivos orientados a reducir la participación extranjera, a acelerar el crecimiento de los sectores y a distribuir una mayor parte del ingreso a los trabajadores. Se creó el nuevo código de Minería en 1971 D.L. 18880.

En 1974 el Perú nacionalizó el 100% de la Cerro de Pasco, de propiedad de la Cerro-Norteamericana. Paga una compensación de 79 millones de dólares.

Para 1977 se ve con satisfacción la evolución de los precios de sus principales productos minerales. Así tenemos que el precio del cobre ha experimentado un aumento de 10% en relación al promedio del año anterior. La importancia de esta evolución de los precios de los metales para la economía peruana puede apreciarse al considerar que, según declaraciones del Presidente del Banco Minero del Perú, la minería contribuyó en 1976 con el 51.8% del ingreso de divisas del país, porcentaje que deberá aumentar substancialmente durante el presente año por la puesta en producción del yacimiento de Cuajone de 155,000 toneladas anuales de cobre y del de Cerro Verde a mediados de 1977 de 33,000 toneladas anuales de cobre refinado.

En 1978 el valor de la exportación del cobre fue de 380.9 millones US\$ que significa 21.9% del total nacional de las exportaciones. Dicho valor comparado con el año anterior representa un incremento de poco menos del 10% y corresponde a un volumen de 346.5 toneladas.

La producción de cobre en 1980 fue de 379,600 TM con un valor de US\$ 705'530 que comparado con las respectivas cifras del 79 (405,373 TM con un valor de US\$ 726'230) dan una variación en el volumen de 6.4% y en el valor de -2.9%.

DEMANDA INTERNA APARENTE ( D I A )  
( T M )

CUADRO No.06

AÑO	PRODUCCION	EXPORTACION	IMPORTACION	DIA
1950	30,100	2,379	1091	28,812
1951	32,000	1,770	754	30,984
1952	30,400	21	859	31,238
1953	35,400	.	1552	36,952
1954	38,400	1,180	1110	38,330
1955	43,400	3,819	1213	40,794
1956	46,400	12,661	2130	35,869
1957	57,174	11,955	1232	46,451
1958	53,619	10,790	899	43,728
1959	50,686	6,383	1037	45,340
1960	181,721	122,008	945	60,658
1961	198,052	149,403	1226	49,875
1962	165,400	119,185	1408	47,623
1963	180,100	114,645	1229	66,684
1964	176,400	115,242	1182	62,340
1965	180,300	118,165		62,135
1966	176,400	119,101	1349	58,648
1967	192,000	126,684		65,352
1968	212,500	144,937		67,563
1969	198,800	135,835		62,965
1970	220,200	141,086		79,114
1971	207,300	126,964		80,336
1972	219,100	144,175		74,925
1973	202,700	134,188		68,512
1974	211,593	135,091		76,502
1975	165,800	87,651		78,149
1976	218,800	46,336		172,464
1977	326,600	137,700		188,900
1978	336,400	133,290		203,110
1979	441,000	139,613		301,387
1980	400,000	131,376		268,624

---

FUENTE: Metal Statistics 1950 - 1980  
66th Edition Frankfurt Am Main 1979.

#### I.4.2 EN EL MUNDO

A fines del siglo XIX, se formo un monopolio muy fuerte. La Compañía clave involucrada era la Standard Oil (la cual incluía entre sus subordinados a la Amaconda Corporation). Mediante una hábil estrategia de compras en el mercado y restricciones en la producción hizo posible la elevación del precio del cobre desde 11-13 centavos ha 17-18 centavos por cobre.

Posteriormente se hicieron planes para efectuar incrementos adicionales en los precios del cobre, pero los productores de fuera de los EE.UU. se negaron a cooperar. No solamente que no compraron cobre sino que a su vez incrementaron la producción. Bajo estas circunstancias, las políticas restrictivas de los monopolios tuvieron un final rápido.

En 1918 ocurrió un acontecimiento similar. Basado en el acta Webb-Pomerane del 10 de abril de 1918 (el cual permitía la operación de monopolios americanos en el extranjero, pero no en el mercado doméstico o nacional), un monopolio conocido como la Copper Export Association hizo su aparición. Este grupo tuvo éxito en sus políticas restrictivas de venta hasta el año de 1923, cuando empezaron a tener tropiezos sus miembros dejaron de cooperar.

En 1926 se formo una organización muy fuerte, Copper Exporters, Inc. (CEI). Este monopolio incluía tanto productores americanos como extranjeros, y se estimaba que tenía a su control el 85% de la producción mundial del cobre. Mediante acuerdos logrados por este grupo, los precios fuera de los EE.UU. fueron fijados mediante reuniones en Bruselas y New York y en pocos años alcanzaron hasta 25 centavos por libra (sin embargo se notará que el monopolio estaba operando en un período de precios ascendentes).

Dado el progreso tecnológico que tuvo lugar en esta época en la industria minera el precio de 25 centavos/libra fue dañino para el monopolio. Porque aleccionó una expansión de la producción de los productores fuera del monopolio originando una presión en la baja de precios lo cual intensificó la gran de presión que por entonces se iniciaba. Bajo estas condiciones los acuerdos anteriores quedaron de lado y los productores se vieron obligados a realizar una serie de disminuciones en el precio por debajo de los niveles en uso. Inclusive el precio llegó a alcanzar hasta los 5 centavos por libra, quedando en el olvido el CEI.

En 1932 el gobierno de los EE.UU. impuso una tarifa de 4 centavos por libra de cobre con lo cual el mercado americano se convirtió preponderadamente doméstica. Una gran depresión en el mundo demandó que se proteja a la actividad minera en los Estados Unidos en un nivel continuamente bajo.

En 1935 se vislumbro cierto optimismo en la industria e hizo su aparición un nuevo monopolio que se le llamo International Copper Cartel e incluía productores de Zambia, Congo, Chile y así sucesivamente. El principio aplicado esta vez fue imponer cuotas a los productores, durante los períodos en que la demanda fuese baja y eliminarlas cuando el precio alcanza cierto nivel. Las cuotas fueron originalmente del 25% de la capacidad y fueron eliminadas durante dos veces (durante 1937 y 1938). Estas oportunidades fueron llamadas recuperaciones aunque ha decir verdad ellas fueron unicamente cortas interrupciones en una época de tendencia general de caída de precios. Fue únicamente durante los preparativos de la segunda guerra mundial que los precios del cobre tomaron distancia de los precios del pasado y se consideraron en sus niveles normales.

Durante los años de la guerra la industria cupriferá operó bajo toda su capacidad, y aunque se hizo una modesta inversión nueva la producción se incrementó sustancialmente. La razón de este incremento fue las facilidades disponibles en la década del 30 la generación de una nueva tecnología que permitió la explotación de depósitos extremadamente ricos. Estos factores impulsaron a la industria de cobre americano a proporcionar, ya sea directa o indirectamente, una gran parte de todo los requerimientos de todos los frentes de combate de los aliados, así como los programas de construcción naval y militar, también se formó una impresionante cantidad de reservas cuya influencia sobre el precio debe tenerse en consideración directa con lo que pasa hoy en día.

Después de la guerra los Estados Unidos bajaron sus derechos de importación (los cuales fueron posteriormente disminuyendo aún más) y por tanto se convirtió en un importador neto de cobre. Este fue un período en que la guerra fría tomaba cuerpo, y esto significó entre otras cosas que los gobiernos de los Estados Unidos y Europa Occidental cultivaran una fuerte aunque no manifiesta determinación de excluir de su experiencia los precios desastrosos y los movimientos de producción de los años 30.

Las políticas de empleo y el plan Marshall permitieron mantener a la industria a una alta capacidad de trabajo, debido al incremento de las relaciones interdependientes a nivel mundial, por lo cual aproximadamente en 1950 el mercado de cobre comenzó a asumir esta característica. De este modo la pos-guerra se caracterizó por una gran tasa de inversión y una considerable integración vertical (particularmente de los Estados Unidos) como horizontal (fuera de los Estados Unidos).

En 1953 el LME se abrió después de haber permanecido cerrado - cerca, de catorce años. El precio del cobre se elevó de 60 libras/TM en 1946 a 250 libras en 1953; y poco antes de su apertura

ra se esperaba que se vendieran las reservas de los Estados Unidos lo cual tendría el efecto de forzar la caída de los precios.

Cuando comenzaron las negociaciones el precio de hecho cayo a 215 libras; pero después se recuperó hasta cerca de 240 libras. Esta situación se explica por la estructura institucional de la industria, por lo cual no se dio el libre fuego de mercado. La industria del cobre, por obvias razones es un oligopolio natural, y difícilmente puede ser muy sensible a las expectativas del LME así como ocurre con el Chicago Grain Exchange; se debe admitir sin embargo que el LME tiene función importante en la determinación de precios y el fuego del mercado.

El precio fuera de los Estados Unidos esta generalmente ligado al mercado de Londres mediante algún tipo de fórmula. En general, esta clase de arreglos han sido aceptados por la mayoría de productores y consumidores, debido a que ellos sienten que las transacciones en el LME si bien pueden parecer marginales en terminos de cantidad, sin embargo reflejan la situación de oferta y demanda del mundo en su conjunto.

Las inversiones realizadas a inicios de la década del 50 reflejan la oferta de cobre en 1957. El precio comenzó a caer, y a consecuencia de una recesión pequeña en los Estados Unidos; el precio de Londres registro una caída de 435 libras en 1956 a 160 libras en 1958. Las negociaciones de las tarifas del GATT las cuales comenzaron en 1947, proporciono gran perjuicio a los productores americanos, desde que ellos previeron la imposición de una tarifa de suficiente magnitud para proteger el mercado de los EE. UU. del cobre extranjero.

Bajo estas circunstancias la producción americana fue forzada a caer.

Como resultado de las tensiones entre los Estados Unidos y Chile los precios en el mercado mundial tomaron una tendencia de alza definida antes de fines de 1959. El 75% de la capacidad americana quedó desocupada, y bajo estas circunstancias solamente la presencia de grandes reservas resguardaron al precio de un incremento violento. Una vez que las tensiones fueron resueltas, sin embargo los precios comenzaron a caer nuevamente.

La oferta del cobre en el Africa se recortó en un 15%. Posteriormente la producción fue también restringida en Chile, Perú, y cierta cantidad de reservas fueron reclasificadas; aunque las malas noticias del mercado predominante se propalaron hasta 1962. En esta oportunidad una combinación de restricción de oferta y operaciones de mantenimiento de precios en LME estabilizaron el precio en 236 libras por un período de dos años.

Cierta gente considera que este experimento de restricciones oferta-mantenimiento de precios (valorización) ha sido una de las más exitosas operaciones de este tipo en la historia. Aunque no fue exitoso para todas las firmas participantes. Una de las cosas que ocurrió en este período fue que muchos productores acumularon reservas, mientras que los consumidores, esperando una caída de precios, disminuyeron sus stocks y con el tiempo inclusive perdieron sus reservas en el mercado.

El crecimiento de la demanda del metal es función del crecimiento de la economía mundial. Si la oferta mundial de estos productos crece más rápidamente que la demanda, se experimentará un exceso de oferta constante, lo cual mantendrá deprimido los precios. De suceder el caso contrario, existirá un déficit de oferta y precios altos. Por otro lado, el ciclo económico mundial, referente por estos mismos motivos, en los precios de los productos mineros, ocasionando inestabilidad en las economías de los países exportadores de este producto.



Todo un conjunto de factores socio-económicos, derivados en su mayoría de acontecimientos mundiales posteriores a la Segunda Guerra, hicieron posible la creación de CIPEC en junio de 1967. Esta organización es ta conformada por Chile, Indonesia, Perú, Zambia y Zaire como miembros de pleno derecho y por Australia, Papúa, Nueva Guinea y Yugoslavia co mo miembros asociados. A pesar de que estos países son responsables de cerca del 60% de las exportaciones mundiales, no han logrado el control de los precios del cobre. Entre las razones que se señalan es tán los problemas de balanza de pagos de varios de estos países y la falta de coherencia política entre los miembros. Sin embargo, el CI PEC ha sido de utilidad al reunir a los representantes de los países- miembros con el objeto de coordinar políticas de ventas eliminando condiciones desventajas de cotización, permitiendo la realización de acuerdos para promover los intereses de los productores y sirviendo - como centro de intercambio de información.

Por otra parte, recién hace pocos años que los países miembros de CI PEC han creado organismos estatales de comercialización. La etapa pre via de estudio y conocimiento de las múltiples técnicas de un mercado complejo está llegando a su fin y también obliga a ser optimistas so bre los resultados que se lograrán de una estrecha y directa colabora ción entre los diferentes organismos de comercialización: la Corpora ción del Cobre (CODELCO) de Chile, Minero Perú Comercial (MINPECO) de Perú, la Societé Zairoise de Commercialization (SOZACOM) de Zaire y la Metal Marketing Corporation (MENACO) de Zambia.

## CAPITULO II

### II CONSIDERACIONES TEORICAS

Mediante el marco histórico expuesto en el Capítulo I, se puede observar que los precios del cobre en el mercado internacional son muy fluctuantes a través del tiempo, lo que le dá un carácter dinámico. Asimismo, vemos que los principales factores que intervienen en este mercado son cuantificables y los relativos a políticas, comportamientos típicos, etc. si bien no son directamente mensurables pueden admitir algún modo de cuantificación indirecta.

Todos estos aspectos serán plasmados en un modelo en base a la teoría de los sistemas dinámicos explicada por su figura máxima Jay Forester del Instituto Tecnológico de Massachussets, lo que nos acercaría a una situación más real. Por otro lado, los modelos construídos con ayuda de la dinámica de sistemas producirán evoluciones continuas y únicas, a partir de las condiciones iniciales, de las variables que contienen; estas evoluciones se representarán por medio de gráficas en las que se visualizará el comportamiento dinámico del sistema.

Por tal motivo, en este capítulo, se expondrán los principales elementos teóricos de la dinámica de sistemas - que se usará, la importancia y utilización de los diferentes factores que nos implicaran, el comportamiento - de los precios del cobre en el mercado internacional a través de un modelo.

### 2.1.1 BREVE HISTORIA

La dinámica de sistemas aparece en un momento histórico en el que se desarrollan movimientos de tipo científico y tecnológico, y resulta influida y hasta cierto punto condicionada, por algunos de estos desarrollos científicos a los que se puede considerar íntimamente ligada.

El torno a la segunda Guerra Mundial se desarrollan los computadores que son unas máquinas electrónicas de calcular llamadas a tener una influencia considerable en múltiples aspectos del quehacer humano y, especialmente en el científico. En torno al computador se desarrolla un cuerpo de doctrina denominado informática, en el cual se integran tanto los avances tecnológicos específicos como como una cierta herencia intelectual de matemáticas aplicadas. La informática se puede considerar como la ciencia y el arte de hacer fácil, cómodo y fecundo el empleo del computador

En los años de la pos-guerra, surge un movimiento, de amplio espectro filosófico y científico, en torno a la llamada teoría general de sistemas (5 y 6). El principal representante de este movimiento y acuñador de la denominación - con que se le conoce, es el biólogo Von Bertalanfy.

(5) Bertalanfy, Ludwig Von

(6) KLIR G.J. (Ed.)

Trends in Generaly Systems Theory

En la actualidad se han realizado cientos de aplicaciones de estas técnicas con resultados positivos. Se puede considerar ya una metodología convencional (7).

Hacia la mitad de los años 60, cuando las aplicaciones de la dinámica industrial ya habían alcanzado un grado aceptable de madurez, se inicio la extensión de la metodología - de otros tipos de sistemas. En concreto, se aplicó al estudio de las ciudades en la denominada dinámica urbana.

En junio de 1970, Forrester fue requerido por el Club de Roma para realizar un intento de aplicación de su metodología al estudio del mundo, considerado como un sistema dinámico. El resultado fue un modelo del mundo, publicado por Forrester en su libro *World Dynamics* (8) y posteriormente reelaborado por Meadows en su informe al Club de Roma.

Las aplicaciones urbana y mundial de la dinámica industrial hicieron comprender que la primitiva denominación era insatisfactoria, y que la metodología era lo suficientemente potente como para abordar una amplia clase de los sistemas sociales. Por ello, se cambio la denominación de dinámica industrial por la de dinámica de sistemas, que es la que se utiliza actualmente.

---

(7) CARLSON, B.P  
Industrial Management Review pag. 15-20 (1964)

(8) CARLSON, B.P  
(Industrial Dynamics) Management Sciences May-Jun.

### 2.1.2 NOCIONES DE SISTEMAS DINAMICOS

Se entiende por sistemas un conjunto de partes interrelacionadas entre sí y del que interesa considerar fundamentalmente su comportamiento global.

Si consideramos un sistema como una unidad, tacitamente se asume que existen unos límites que separen esta unidad del medio en el que está inserta.

Los límites del sistema deben escogerse de manera que se incluyan en su interior aquellos componentes necesarios para generar los modos de comportamiento de interés. Si se trata de estudiar una cierta peculiaridad (un problema) del sistema los elementos descritos en el interior de los límites deben ser capaces de generar este problema. El concepto de límite pretende explicar que el comportamiento de interés del sistema se genere en el interior de los límites, y no viene determinado desde el exterior. Lo cual no quiere decir que el comportamiento del sistema no vaya a estar afectado desde el exterior de los límites, sino que la acción del medio sobre el sistema puede ser considerada como una perturbación que afecta al comportamiento autónomo del sistema; pero ella misma no suministra al sistema sus características.

Normalmente, interesa considerar únicamente las acciones del medio sobre el sistema y no las posibles acciones del sistema sobre el medio.

Desde el punto de vista de dinámica de sistemas los

modelos se construyen tras un análisis cuidados y detenido de los distintos elementos que intervienen en el sistema observado. De este análisis se extrae la lógica interna del modelo y a partir de la estructura así construída se intenta un ajuste con los datos históricos.

Debe tenerse en cuenta que el ajuste de los parámetros libres a los datos históricos ocupa un lugar secundario siendo el análisis de lógica y de las relaciones estructurales, los puntos fundamentales de la construcción del modelo.

Basándose en estas relaciones se construyen modelos que reciben la denominación de modelos de simulación.

Respecto a la cuantificación de las variables que intervienen debe indicarse que se trata del establecimiento del modelo de una forma precisa, es decir, sin ambigüedades.

Los distintos elementos o variables, que intervienen en el modelo pueden clasificarse en exógenos y endógenos. Las variables exógenas sirven para describir aquellos efectos sobre el sistema que son susceptibles de ser modificados desde el exterior del mismo. Representan cierta forma, el medio en el que está inmerso el sistema. Las variables endógenas sirven para caracterizar aquellos elementos cuyo comportamiento está completamente determinado por la estructura del sistema, sin posibilidad de modificación directa desde el exterior.

### 2.1.3 DIAGRAMA CAUSAL

Una vez determinado los diferentes factores que forman el modelo se establece un bosquejo esquemático de aquellos que están relacionados entre sí, mediante un diagrama en el cual los nombres de los diferentes factores están unidos entre sí por flechas. A este diagrama se le conoce con el nombre de Diagrama Causal (9).

Esta estructura viene dado por la especificación de las variables que aparecen en el mismo, y por el establecimiento de la existencia, o no existencia de una relación - de cada par de variables.

Lo único que le interesa a este análisis; es si existe relaciones o no entre las diferentes variables que forman el modelo.

Supóngase dos elementos variables del sistema denotados por X (demanda) e Y (precio). La demanda influye en los precios entonces demanda y precio se ligarán entre sí por medio de una flecha, cuyo sentido indica el de la relación causal. Así si X influencia a Y se escribirá:

X

Sobre la flecha se indica, por medio de un signo si las variaciones de los diferentes factores son del mismo sentido, o de sentido contrario.

(9) Javier Aracil, Introducción a la Dinámica de Sistemas Madrid, 1978. pág.43

Es decir, si a un aumento (disminución) de X corresponde un aumento (disminución) de Y, se escribirá:



Se dice entonces, que se tiene una relación positiva.

Por otra parte, si a un aumento (disminución) de X, corresponde una disminución (aumento) de Y se escribirá:



Se dice entonces, que se tiene una relación negativa.

En los diagramas causales las relaciones que ligan a dos elementos entre si, pueden ser de dos tipos:

Relación causal propiamente dicha, que es aquella en la que un elemento X determina a otro Y, con una relación de causa a efecto.

Relación correlativa, que es aquella en virtud de la cual existe una correlación (por ejemplo estadística) entre dos elementos del sistema, sin existir entre ellos una relación de causa efecto.

El diagrama causal no contiene información cuantitativa sobre la naturaleza de las relaciones que ligan a los distintos elementos, sino que sólo suministra un bosquejo de las relaciones de influencia causal.

De acuerdo con el diagrama causal se puede establecer una clasificación de la estructura de los sistemas. Existen dos tipos de básicos de estructura causales:

La estructura causal simple, y la

La estructura causal compleja.



En un diagrama causal complejo se pueden distinguir los bucles realimentados. Un bucle realimentado es una cadena - cerrada de relaciones causales. Existen dos clases de bucles realimentados:

1.- BUCLE DE REALIMENTACION POSITIVA.-

Son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que se refuerza la variación inicial.

2.- BUCLES DE REALIMENTACION NEGATIVA.-

Son aquellos en los que una variación en un elemento - se transmite a lo largo del bucle de manera que determine una variación de signo contrario en el mismo elemento.

Un bucle realimentado es positivo si contiene un número par de relaciones negativas.

Un bucle realimentado es negativa si contiene un número impar de relaciones negativas.

En todo diagrama causal coexisten normalmente bucles de realimentación positiva con bucles de realimentación negativa. Las interacciones entre ambos tipos de bucles determinan el comportamiento global del sistema.

Los bucles de realimentación negativa tienden a crear equilibrio dentro de los modelos en estudio.

#### 2.1.4 DIAGRAMA DE FORRESTER

Los diferentes elementos que constituyen el diagrama causal se representan por medio de variables, las cuales se clasifican en:

VARIABLES DE NIVEL, VARIABLES DE FLUJO Y VARIABLES AUXILIARES.

##### VARIABLES DE NIVEL:

Las variables de nivel constituyen aquel conjunto de variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema.

Los niveles representan magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado.

La elección de los elementos que se representan por niveles, en un modelo determinado, depende del problema específico que se esté considerando. Una característica común a todos los niveles es que cambian lentamente en respuesta a las variaciones de otras variables.

##### VARIABLES DE FLUJO:

Las variables de flujo determinan las variaciones en los niveles del sistema. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, las cuales quedan acumuladas en los correspondientes niveles. Las variables de flujo determinan como se convierte la información disponible en una acción o actuación.

Debido a su naturaleza se trata de variables que no son medibles en si, sino por los efectos que producen en los nive

les con los que están relacionadas.

Las variables de flujo tienen como entradas exclusivamente a niveles y a variables auxiliares. Es decir, dos variables de flujo no pueden conectarse entre sí.

La evolución del sistema en el tiempo comporta variaciones en los distintos niveles. Estas variaciones se deben no sólo a la acción de factores externo (variables exógenas), sino y sobre todo, a decisiones en un sentido amplio, tomadas en el interior del sistema, que se interpretan con ayuda de las funciones de decisión asociadas a las variables de flujo. En este sentido es como deben entenderse el que el sistema genere su propio comportamiento y la existencia de unos límites para el mismo.

Las variables de nivel y de flujo están ligadas entre sí por medio de canales. Existen dos clases de canales:

- Canales materiales, los cuales se representan por un trazo continuo;
- Canales de información, los cuales se representan por medio de un trazo discontinuo.

### VARIABLES AUXILIARES

Las variables auxiliares representan pasos o etapas en que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles.

Las variables auxiliares unen los canales de información entre variables de nivel y de flujo; en realidad son parte de las variables de flujo. Sin embargo, se distinguen

de ellas en la medida en que tenga un significado real por si mismas, o sencillamente, porque hacen más fácil la comprensión de las ecuaciones de flujo.

Las variables auxiliares se pueden emplear para representar las no linealidades que aparecen en el sistema.

Si las variables X e Y están ligadas por una expresión, de la forma  $Y = f(x)$ , en donde (x) es una función no lineal, entonces se emplea un símbolo como el empleado para las variables auxiliares.

#### Demoras de tiempo

Las demoras de tiempo se representan por "paquetes" que consisten en una combinación de ecuaciones de tasa y nivel que se insertan en un canal de flujo. Ellos modifican las relaciones de tiempo entre el flujo de entrada dado y el flujo de salida resultante que es generado por la demora.

El orden de la demora viene dado por el número de niveles necesarios para la simulación del mismo.

Convencionalmente se presenta el nivel y el flujo situados en el interior del recuadro por medio de un símbolo se indica el orden de la demora, y el tiempo de ajuste.

Las ecuaciones que rigen el comportamiento de una demora son las siguientes :

$$N1(t) = N1(0) + \int_0^t (FE - F1) dt$$

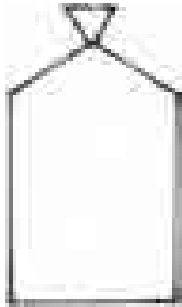
siendo  $F1 = N1/TA$



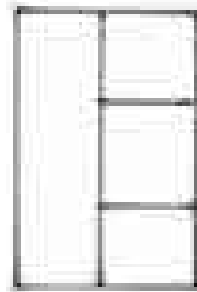
Nube



Nivel



Flujo



Demora



Constante

Variable auxiliar



Canal de material



Canal de Información

Fig. 2.1 SIMBOLOS DE UN DIAGRAMA DE FORRESTER

por lo tanto la ecuación diferencial que rige el comportamiento del conjunto es la siguiente:

$$FE = F1 + \frac{df1}{dt}$$

en donde TA es la constante de tiempo del sistema.

En el lenguaje dynamo existen dos estructuras para la demoras de materiales: Delay 1 y Delay 3. El primero es un retraso de primer orden, mientras que el segundo es de tercero. Los flujos de entrada en ambos diagramas se denotan por X. Los flujos de salida, es decir, los valores retrazados de X, por XR. El tiempo de ajuste en ambos casos es TA el cual puede ser constante o variable.

Las ecuaciones en Dynamo para las demoras de primer y tercer orden son respectivamente:

$$XR.KL = DELAY 1 (X.JK,TA)$$

$$XR.KL = DELAY 3 (X.JK,TA)$$

Nube

Un nivel se puede alimetar o bien desde otro nivel, a través de la correspondiente variable de flujo o bien desde una fuente exterior al sistema.

En este último caso, si además, la fuente puede considerarse infinita, es decir, no agotable, se representa en los gráficos por medio de una nube.

Con los simbolos de la Fig.2.1 se pueden construir un diagrama que represente una interpretación analógica del sistema de ecuaciones diferenciales. Estos diagramas reciben la denominación de "Diagramas de Forrester".

### 2.1.5 LAS ECUACIONES DEL MODELO Y SU PROGRAMACION

El proceso de construcción de un modelo de un determinado sistema se inicia con la construcción de un diagrama causal, tras lo cual se establece el diagrama de Forrester correspondiente.

Debe notarse que en el diagrama causal no está especificado el carácter de los distintos elementos que en él se relacionan, es decir, no se sabe si se trata de variables de nivel, de flujo o auxiliares.

La distinción entre niveles y variables auxiliares, a partir del diagrama causal, no siempre está clara y a veces es difícil decidir si una variable debe ser un nivel o una variable auxiliar.

Una vez identificadas las variables de nivel, las de flujo y las auxiliares, se procede a construir el diagrama de Forrester a partir del diagrama causal. De hecho, el diagrama de Forrester ya es en cierto sentido un modelo matemático, puesto que cada uno de los bloques que intervienen en el mismo lleva asociada una ecuación matemática que caracteriza la función realizada por dicho bloque.

Del diagrama de Forrester se puede obtener el modelo matemático del Sistema en forma analítica. Para ello lo único que se requiere es tener las no linealidades que aparecen en el sistema en esta forma, es decir, en forma analítica. A partir del diagrama de Forrester se puede escribir:

$$X = f(x, u)$$

en donde  $x$  es un vector que representa todos los niveles - que aparecen el diagrama, es decir,  $x^t = [N_1, N_2, \dots, N_k]$ , y  $u$  representa el conjunto de variables exógenas al sistema.

Las variables de flujo y las auxiliares se han eliminado, dejando únicamente las variables de nivel y las variables exógenas.

Si en lugar de escribirse el modelo en tiempo continuo, es decir, en forma de ecuaciones diferenciales, se prefiere - la escritura en tiempo discreto, se tendrá:

$$x(t + \Delta t) = \phi [x(t), u(t)]$$

en donde el significado de  $x$  y  $u$  es el mismo que el indicado más arriba.

Normalmente, cuando se va a simular un modelo matemático no tiene interés la forma analítica, puesto que lo que entonces interesa es la escritura del modelo en una forma fácilmente programable sobre un computador. Habitualmente - se emplea un computador numérico, ya que el procedimiento de simulación está basado en el empleo de estos computadores. Las ecuaciones del modelo se escriben con el método de integración numérico, que normalmente, es el método de Euler. La programación de estas ecuaciones del sistema - dinámico se pueden hacer en cualquier lenguaje de alto nivel. No obstante se ha desarrollado un lenguaje de programación específico con ayuda del cual se pretende que la escritura de las ecuaciones asociadas a un diagrama de Forrester sea



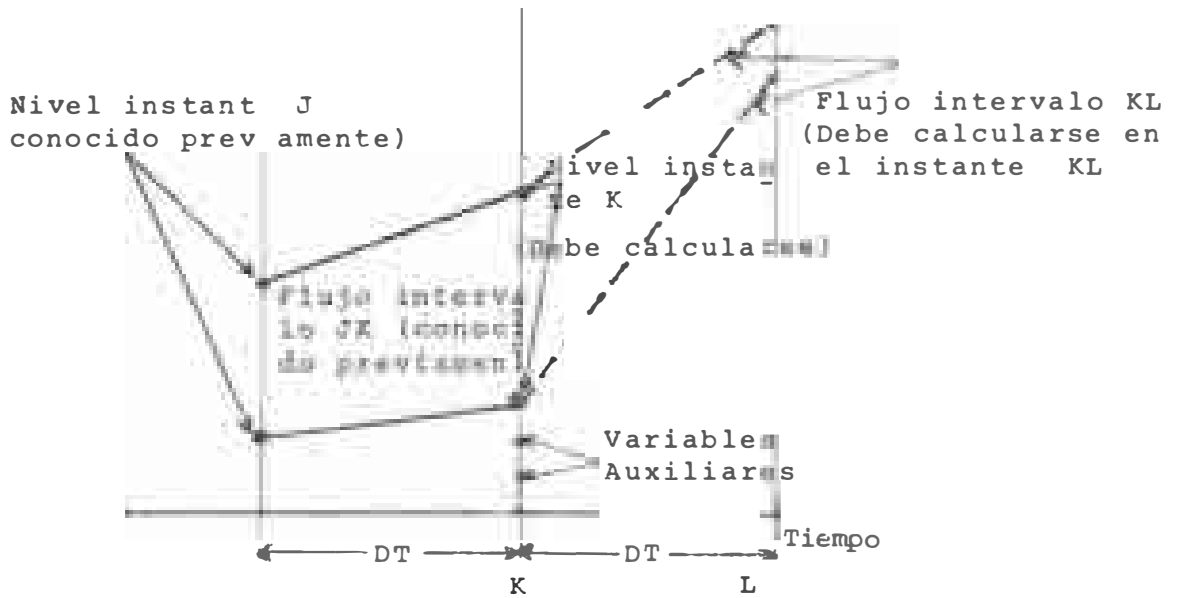


Fig. 2.2 Secuencia de Calculo del lenguaje dynamo en el instante K

lo más sencilla posible. Este lenguaje es el Dynamio (10).

En las ecuaciones escritas en dynamo se hace  $t = DT$ , tal como se indica en la fig. 2.2. Las letras J, K y L que siguen a los símbolos de las variables son los indicadores de tiempo. K indica el instante que se está considerando, J el presente y L el siguiente.

Para las ecuaciones de flujo, JK denota el flujo calculado en el intervalo precedente, y KL el flujo que se calcula para el intervalo siguiente. Esta figura nos muestra esquemáticamente la secuencia de cálculo implícita en las ecuaciones. En la secuencia de cálculo se sobreentiende que la evolución del sistema ha alcanzado el instante K, pero que las ecuaciones aún no se han resuelto para los niveles en el instante K ni para los flujos sobre el intervalo KL.

(10) Pugh III, A.L. - Dynamio II user is manual - MIT Press, 1973

Para los propósitos de evaluación numérica, las ecuaciones básicas de un modelo se separan en dos grupos: Las ecuaciones de nivel y las ecuaciones de flujo. Para cada etapa de tiempo, las ecuaciones de nivel se evalúan primero, y puede disponerse de los resultados a fin de usarlos en las ecuaciones de flujo (las ecuaciones auxiliares se evalúan entre el nivel y los grupos de flujo).

### Ecuaciones de Nivel

A cada nivel  $N$  se le puede asociar un flujo de entrada  $FE$  y un flujo  $FS$  de salida, de manera que la ecuación que represente la evolución del nivel es la siguiente:

$$N(t) = N(0) + \int_0^t (FE - FS) dt$$

o lo que es lo mismo,

$$\frac{dn}{dt} = FE - FS$$

Esta ecuación se puede escribir, de la forma aproximada empleando el método de Euler de integración numérica,

$$N(t + \Delta t) = N(t) + \Delta t (FE(t) - FS(t))$$

Esta última forma de escribir la ecuación de un nivel es la que se emplea comúnmente en la dinámica de sistemas

En el lenguaje dynamo sería:

$$N . K = N . J + (DT) (FE . JK - FS . JK)$$

El cálculo de las ecuaciones de nivel, en el instante  $K$ , está basado en el conocimiento de los niveles en el instante anterior,  $J$ , y de los flujos en el intervalo  $JK$ . Una vez calculados los niveles en el instante  $K$  y después de haber calculado los flujos correspondientes al in-

tervalo KL, los índices se adelantan un tiempo DT para iniciar el siguiente ciclo de cálculo. Los flujos correspondientes al intervalo JK después del cambio del índice; los índices K de los niveles se transforman en J; se inicia el siguiente ciclo de cálculo, y así sucesivamente.

### Ecuaciones de Flujo

A las variables de flujo se asocian ecuaciones que definen el comportamiento del sistema. El bloque representativo de un flujo admite, como entrada, la información proveniente de los niveles, o de las variables auxiliares, del sistema y suministra como salida el flujo que alimenta a un nivel.

La forma convencional de una ecuación de flujo es la siguiente:

$$FA(t) = \frac{B(t) \cdot A(t)}{DD}$$

En dynamo sería:

$$FA.KL = \frac{(B.K) (A.K)}{DD}$$

Una ecuación de flujo se evalúa en el tiempo K para determinar la decisión que gobierna la tasa de flujo sobre el intervalo siguiente KL.

Una ecuación de flujo se evalúa a partir de los valores existentes en

el presente en los niveles del sistema, incluyendo por lo común el nivel del cual procede el flujo y aquel hacia el cual se dirige.

Las ecuaciones de flujo se evalúan con independencia unas de otras dentro de cualquier etapa de tiempo particular.

#### Ecuaciones Auxiliares:

Las ecuaciones auxiliares se evalúan en el tiempo  $K$ , pero después de las ecuaciones de nivel para el tiempo  $K$ , porque al igual que los flujos de las cuales forman parte, utilizan los valores presentes de los niveles. Deben evaluarse antes de las ecuaciones de flujo pues sus valores se obtienen para sustituirlos en las ecuaciones de flujo.

Las ecuaciones auxiliares no pueden evaluarse en un orden arbitrario. Algunos pueden ser componentes de otros; dos o cien pueden tomar "cadenas" que deben evaluarse en el orden adecuado de manera que una pueda utilizarse en la siguiente. Si la ecuación se formula correctamente ha de existir una secuencia de reemplazo posible.

#### Ecuaciones Suplementarias:

Se las utiliza con el objeto de definir las variables que realmente no forman parte de la estructura del modelo pero que surgen en la impresión y representación gráfica de los valores de interés acerca del comportamiento de éste. Con  $S'$  indicaremos una ecuación suplementaria.

#### Ecuaciones de Valor Inicial:

Se utilizan para definir los valores iniciales de todos los niveles (y algunos flujos) que deben darse antes de que pueda comenzar el primer ciclo de computación de ecuaciones del modelo.

Las ecuaciones de valor inicial se evalúan solamente una vez antes de que empiece la pasada de cada modelo. Las notaciones 'I' indica una ecuación inicial.

"El Dynamo es un lenguaje de programación con el que se facilita la programación de la aproximación de Euler de un sistema de ecuaciones diferenciales." (11)

El empleo de este lenguaje de programación ofrece las siguientes ventajas:

Las sentencias de instrucciones son muy fáciles de entender.

Se pueden obtener los resultados de la simulación en forma de gráficas o listados.

Las operaciones de compilación y simulación se realizan rápidamente.

No obstante estas ventajas, debe insistirse, en que el empleo del Dynamo no es indispensable para la programación de modelos construidos con ayuda de la dinámica de sistemas.

En la resolución de las ecuaciones de un modelo debe procederse de forma sistemática. Es decir, construir una secuencia de cálculos que sirva de base para la elaboración del programa que permite obtener la evolución en el tiempo del sistema que se modela.

Supóngase que en el instante  $t$  se dispone del valor de los niveles  $N(t)$ . La secuencia de cálculo es la siguiente:

1. A partir de  $N(t)$  y con ayuda de las ecuaciones de flujo se determinan los valores de las variables de flujo  $F(t)$  para realizar este cálculo se determinarán, en primer lugar, los valores tomados por las variables auxiliares en el instante  $t$ .

2. A partir de  $N(t)$  y de  $F(t)$  se determina  $N(t + \Delta t)$ , es decir, el valor de los niveles en el instante  $t + \Delta t$ .

3. Se hace  $t = t + \Delta t$  y se vuelve a 1.

Con el empleo del lenguaje dynamo, la ordenación de la secuencia de cálculo se hace de una forma automática.

Las no linealidades que se consideran en los modelos de dinámica de sistemas son no linealidades sin memoria, es decir, funciones de una variable que solo responden al valor de la señal de entrada en el instante considerado. Empleando el Dynamo, la no linealidad se introduce por puntos por ello las no linealidades se denominan, también tablas.

En la forma convencional se escribe la no linealidad de la siguiente forma:  $A=f(B)$ , en Dynamo se tendrá

$$A.K = \text{TABLE} (AT.BK.B1, B5, \Delta)$$

$$AT = A1, A2, A3, A4, A5.$$

Donde:

B = Variable con la que se alimenta la no linealidad

B1 y B5 = Representa el intervalo que define la no linealidad

$\Delta$  = Indica la reparación entre dos valores sucesivos de  $B_i$ .

La segunda de las sentencias indica los valores tomados por A para los valores de B indicados en la primera de las sentencias. Es decir, los valores  $A_i = f(B_i)$ , para  $i = 1, 2, 3, 4$  y  $5$ .

Con los datos suministrados por estas dos sentencias se tienen definidos una serie de puntos de la no linealidad. El compilador realizó una interpolación para valores de B comprendidos entre los definidos en las sentencias. (12)

En las primeras versiones del dynamo, esta interpolación era lineal ; en las ultimas versiones se ha previsto una interpolación polinomial.

Para finalizar este sustento teórico debe indicarse que el Dynamo es el lenguaje más indicado para aplicaciones de dinámica de sistemas. Pero no es indispensable porque se pueden también utilizar otros lenguajes de alto nivel, como el FORTRAN.

- 11) Dynamo I User's manual - M.I.T. (Instituto Tecnológico de Massachusetts) - Cambridge, Mass.
- 12) Una explicación más amplia podemos ver en el MANUAL DEL DYNAMO II (segunda edición) - Cambridge, Mass. 1974

## C A P I T U L O III

### III MODELO DINAMICO PARA LOS PRECIOS DEL COBRE

Tradicionalmente se han estudiado los modelos estáticos, pero las investigaciones recientes han permitido al economista utilizar un enfoque dinámico. El análisis estático hace abstracción del tiempo, por el contrario el análisis dinámico se ocupa de los diferentes períodos de tiempo y de los movimientos de las variables a lo largo del tiempo.

#### 3.1 MODELOS

Un modelo constituye una representación abstracta de un cierto aspecto de la realidad y tiene una estructura formada por los elementos que caracterizan la realidad modelada.

Si consideramos la forma de las relaciones entre las variables ellos pueden ser de dos clases: "modelos lineales" y "modelos no lineales". Los modelos lineales se caracterizan porque todas sus ecuaciones son de primer grado, en tanto que los modelos no lineales, son aquellos que tienen por lo menos una ecuación de un grado mayor que uno.

En primer lugar trataremos de elaborar un modelo lineal a partir, fundamentalmente del procesamiento de los precios históricos del cobre considerando un período de 80 años desde 1900 hasta 1980 (por quinquenios).



RELACION DE PRECIOS VS.-TIEMPO DEL COBRE

EN CENTAVOS DE \$ POR LIBRA

<u>AÑOS</u>	<u>PRECIO CORRIENTE</u>
1900	16.19
1905	13.87
1910	20.16
1915	14.97
1920	23.03
1925	13.47
1930	14.47
1935	7.55
1940	10.90
1945	11.70
1950	22.6
1955	31.5
1960	32.3
1965	31.9
1970	55.7
1975	66.6
1980	78.7

FUENTE World Bureau of Metal Statistics 1900-1980

EVOLUCION HISTORICA DE LA PRODUCCION Y CONSUMO  
DEL COBRE EN EL MUNDO 1900-1980

AÑO	PRODUCCION (TM)	CONSUMO (TM)
1900	499	512.7
1905	604.2	599.3
1910	787 .8	685.9
1915	1'001.6	905.7
1920	1'253.2	1'125.5
1925	1'078.6	1'235.5
1930	1'624.2	1'345.5
1935	1'426.4	1'470.3
1940	2'339.4	1'595.2
1945	2'775.6	2'254.6
1950	2'706.8	2'432.0
1955	3'441.0	3'444.7
1960	4'323.8	4'755.8
1965	5'524.2	5'541.9
1970	6'757.0	6'664.7
1975	8'262.8	7'247.3
1980	9'154.2	9'245.0

FUENTE: World Bureau of Metal Statistics 1900-1980

A este modelo, de cierta manera, se le puede considerar conductista, porque no trata de establecer la estructura interna del sistema, sino únicamente ajustar un modelo a los datos reales que se conocen. A esta forma de construir modelos se ocupa la econometría que nos permite obtener los parámetros de los modelos mediante el método de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO) o también conocido con las siglas OLS (Ordinary Least Squares) según lo expuesto por Johnston (13).

A los modelos econométricos se les ha criticado en la medida en que presuponen una estructura o forma del modelo a priori, a la cual los datos deben ajustarse necesariamente. Sin embargo, para períodos cortos de tiempo, tales como un año o dos, los modelos econométricos han demostrado ser útiles.

No pretendemos hacer un estudio completo de estos modelos de estimación, pues se sale fuera de las características de éste trabajo. Otro punto de vista del cual nos ocuparemos en este trabajo es aquel según el cual se trata de construir un modelo tras un análisis cuidadoso y detenido de los distintos elementos que intervienen en la construcción del modelo. De este análisis cuidadoso se extrae la lógica interna del modelo, y a partir de la estructura construida se intenta un ajuste con los datos históricos.

Debe notarse que el ajuste de los parámetros libres del modelo a los datos históricos ocupa un lugar muy secundario, siendo el análisis de la lógica interna y de las relaciones estructurales en el modelo los puntos fundamentales de la construcción del mismo.

La dinámica de sistemas pertenece a esta escuela a la que en cierta forma, cabe considerar estructuralista (14)

Los conceptos fundamentales sobre los cuales se basa esta nueva técnica proviene de la teoría de servomecanismos o de sistemas de información con retroalimentación, del desarrollo de computadoras con gran poder de memoria de una mejor comprensión de los procesos de toma de decisiones y del enfoque experimental para analizar sistemas complejos.

Al haber realizado una somera investigación bibliográfica se ha podido constatar que no se ha preparado otras tesis que utilizan la metodología que me propongo poner a prueba para el comportamiento de los precios del cobre. Sin embargo, conocemos cierta cantidad de literatura, no traducida a modelos, aunque contienen apreciaciones y ciertas cifras, sobre el tema de investigación.

---

(13) Johnston, J. Econometric Methods 2dn. edition Mc. Grau -Hill 1972

(14) Piaget. J. La Structuralismo PUF, 1968.

### 3.2 VARIABLES RELEVANTES

Para nuestros modelos dinámicos de los precios del cobre se propone un análisis multidimensional con el objetivo de un manejo global, trataremos de elaborar un modelo matemático simple, que permita cubrir todos los aspectos en general, sin entrar en aspectos teóricos demasiados sofisticados o especializados. Creemos que en este campo no existe experiencias de éste tipo y por ello la modelación debe seguir directivas generales.

La tendencia de los precios del cobre, desde hace muchos años refleja no sólo la relación existente entre la oferta y la demanda que siempre han determinado este precio, sino también el efecto de otros factores que se consideran como variables relevantes que explican el comportamiento de los precios del cobre en el mercado internacional.

Estas variables pueden ser de tipo económico, político y social - que influirán todos en conjunto. Entre las variables económicas podemos citar:

La demanda mundial, los precios mundiales, la oferta mundial del cobre, los costos de inversión para los equipos necesarios para la puesta en explotación.

Entre los políticos hay que tener en cuenta la actitud de los gobiernos de los países en que están situadas las reservas de mineral, su actitud frente a las explotaciones privadas o empresas mixtas, impuestos, derechos aduaneros, reglamentaciones de cambios y de la política fiscal en general.

Otro factor que ha influido en el mercado del cobre es la ascensión del Japón como gran estado industrial moderno. Los métodos de compra de los Japoneses y de financiación de las empresas mineras para asegurarse el aprovisionamiento del metal han tenido repercusión sobre el mercado mundial.

En el cuadro No.3.2.1 mostramos algunos factores principales que influyen en la determinación de los precios del cobre.

### 3.3 DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS VARIABLES

Los economistas ortodoxos, tanto Keynesianos, como monetaristas, consideran que pueden explicar y pronosticar la dinámica económica exclusivamente de variables económicas, resultado de su visión unidisciplinar del mundo.

Las reformas en la administración económica han permitido considerar una cantidad de detalles, como son los objetivos sociales y los aspectos tecnológicos para la construcción de los modelos, no está en nuestro interés cubrir todas las posibilidades reales que son posible lograrse, sino las bases matemáticas de la discusión - de una estructura coherente desde la perspectiva de sistemas.

En el marco del trabajo de un sistema integrado, se debe cubrir de manera general todas las variables relevantes y ello incluye las no económicas como son los recursos naturales, población, etc. que servirán para el planeamiento a un largo plazo.

En la dinámica de sistemas es sencillo observar éste comportamiento de manera dinámica-numérica en contraste con los enfoques demasiado heterogéneos; por ello se les ha llevado al Dynamo.

PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN AL PRECIO DEL COBRE

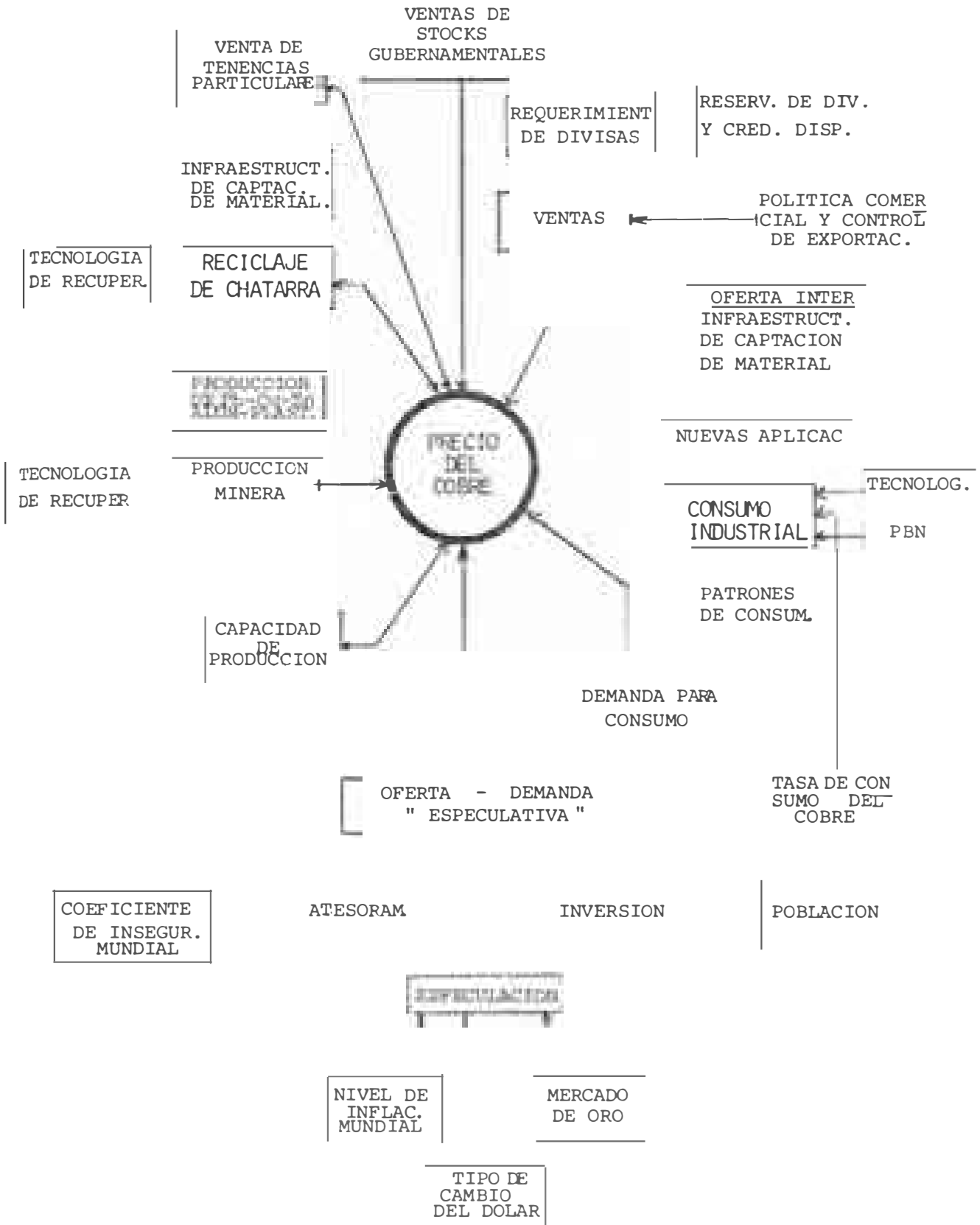


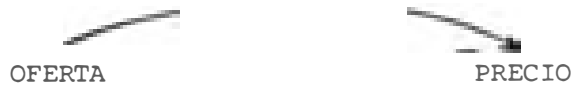
FIG. 3.2.1

### 3.4 DIAGRAMA CAUSAL PARA EL COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS

Para construir el diagrama causal examinaremos las bases teóricas de un modelo que tenga una filosofía de autorregulación por lazos realimentados.

Veamos la relación entre el precio y la oferta

A mayor oferta, el precio del bien tenderá a disminuir esto puede ser graficado de la siguiente forma



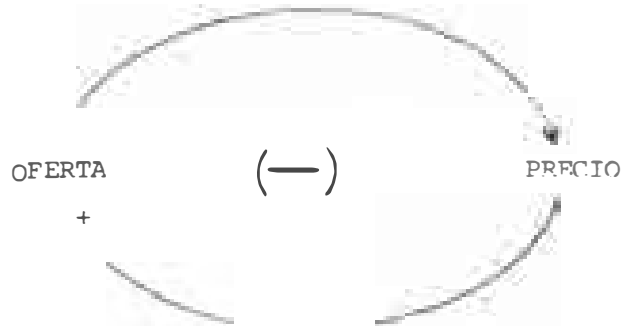
Por otra parte, la oferta a su vez es influida por el precio, en el sentido siguiente

A mayor precio mayor oferta. Lo cual puede ser mostrado de la siguiente manera



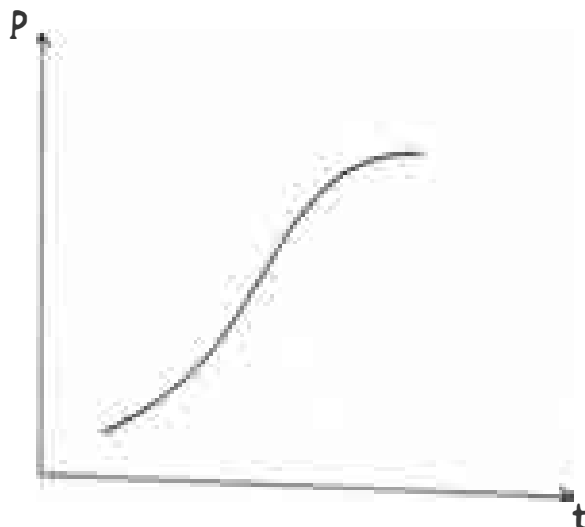


Por tanto la relación doble entre la oferta y el precio será



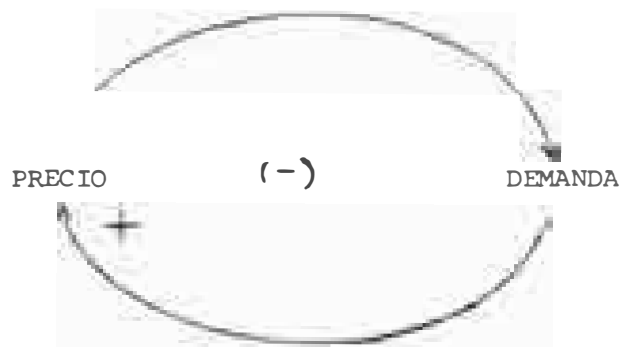
Lo cual muestra claramente como un aspecto depende del otro a esto llamaremos un diagrama causal retroalimentado y que en lenguaje popular se la llamará "círculo vicioso".

En la parte media del diagrama se ha colocado el signo  $(-)$  lo cual significa que se trata de un ciclo de retroalimentación negativo. Si consideramos solo estos dos factores, el comportamiento del precio en el tiempo tendría una forma de S, esto es;



tendrá a estabilizarse, si es que consideramos solo estos dos factores.

Por otra parte veamos como se comporta el precio, respecto de la demanda



que puede interpretarse así

A mayor precio menor demanda, a mayor demanda mayor precio.

Si relacionamos ambos diagramas se tendrá

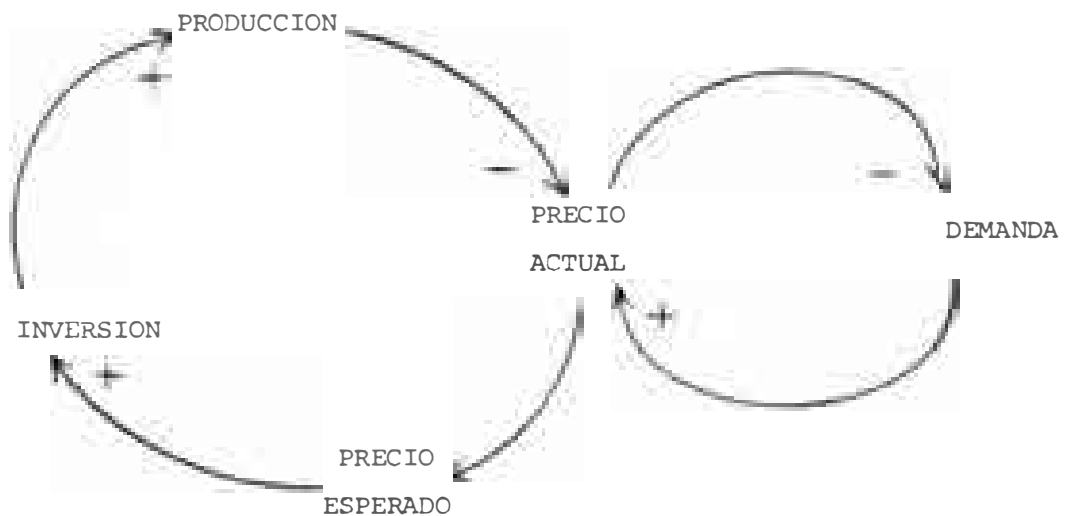


Que explica la relación interdependiente de estos tres factores.

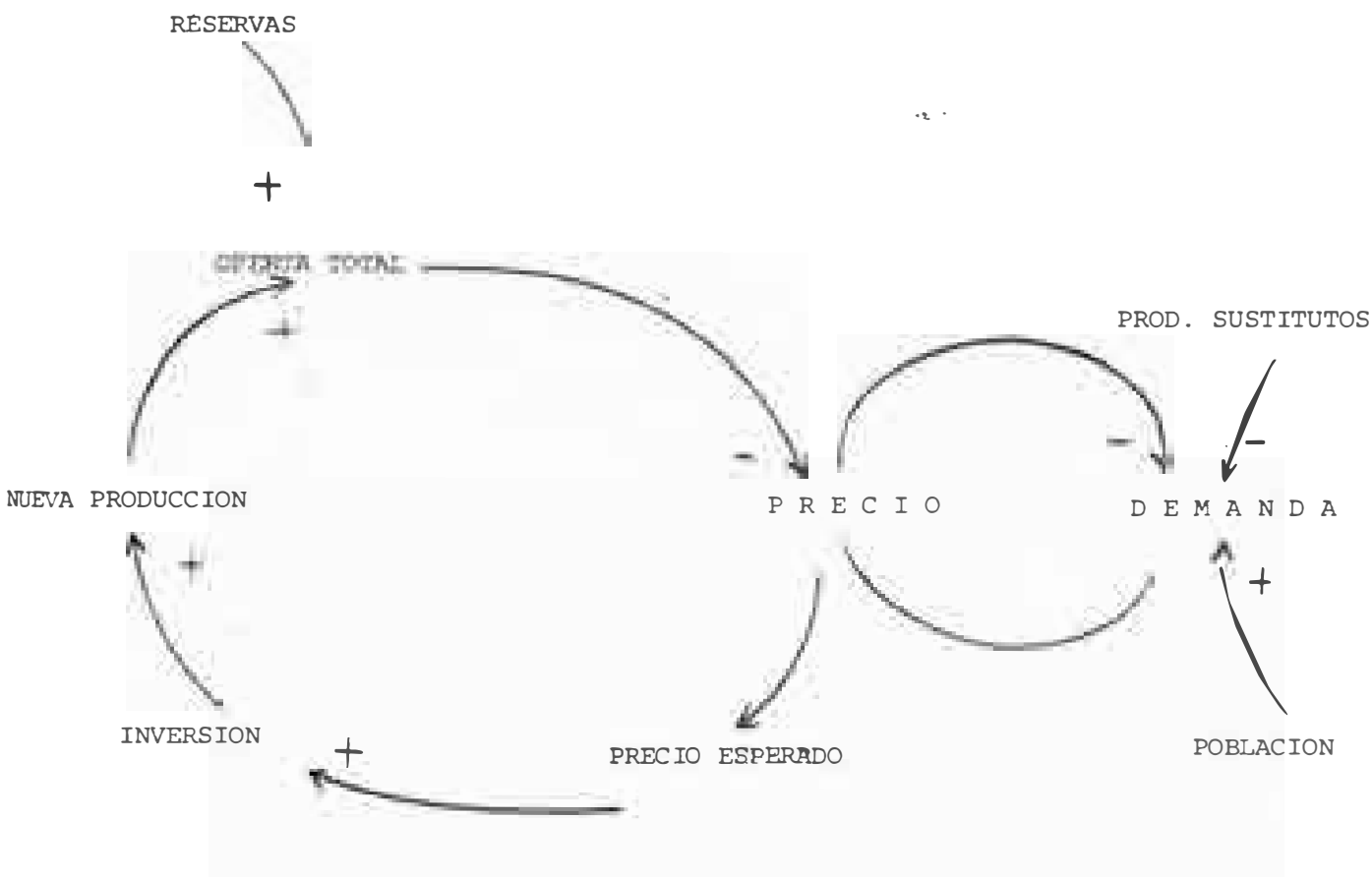
El Diagrama mostrado, pese a su simplicidad, es la esencia del problema de oferta-demanda-precios.

Las relaciones se harán más complejas si continuamos agregando otros aspectos a este diagrama para ir detallándolo: Así tenemos que, considerando el tiempo de demora entre decidir una nueva inversión y la producción de cobre, el incremento de este último se basará en gran medida en los precios esperados en el futuro y así como en la posibilidad de productos sustitutos.

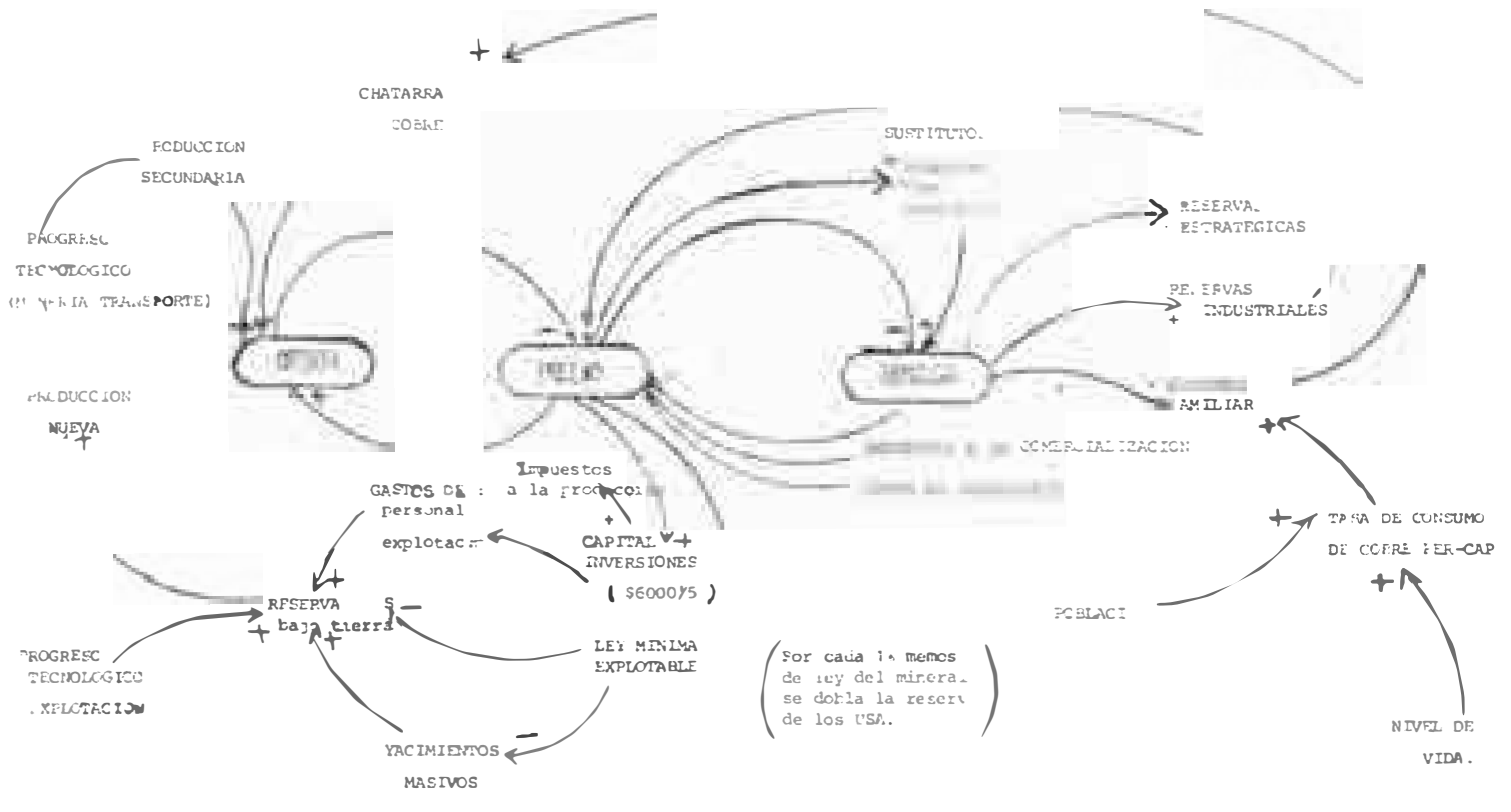
Con estas nuevas consideraciones el diagrama tomará la forma



Por el bucle correspondiente a la demanda también se pueden agregar algunos factores. Exáminese el efecto de los productos sustitutos : a mayor uso de estos, menos demanda de cobre. Habrá también otro factor a considerar la población , ya que cuanto mayor sea esta, mayor será la demanda:



Finalmente, presentamos un diagrama más completo don de se incluye un mayor número de variables. Así mismo, los distintos bucles de realimentación, que formarán en su conjunto una visión general del sistema de precios.



3.4.4 MODELO DE MERCADO MUNDIAL DEL COBRE

DIAGRAMA CAUSAL

TESIS DE GRADO

L. E. G.

### 3.5 DIAGRAMAS DE FORRESTER PARA EL COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS

---

Una vez determinados los diagramas causales del modelo podemos representar gráficamente cada una de sus variables por símbolos que se utilizan en los cursosogramas o diagramas de forrester.

Las interrelaciones entre las variables se ven mejor cuando se muestran en un cursograma que cuando simplemente se les da en una lista de ecuaciones. Estos diagramas representan la transición intermedia entre la descripción verbal y un conjunto de ecuaciones.

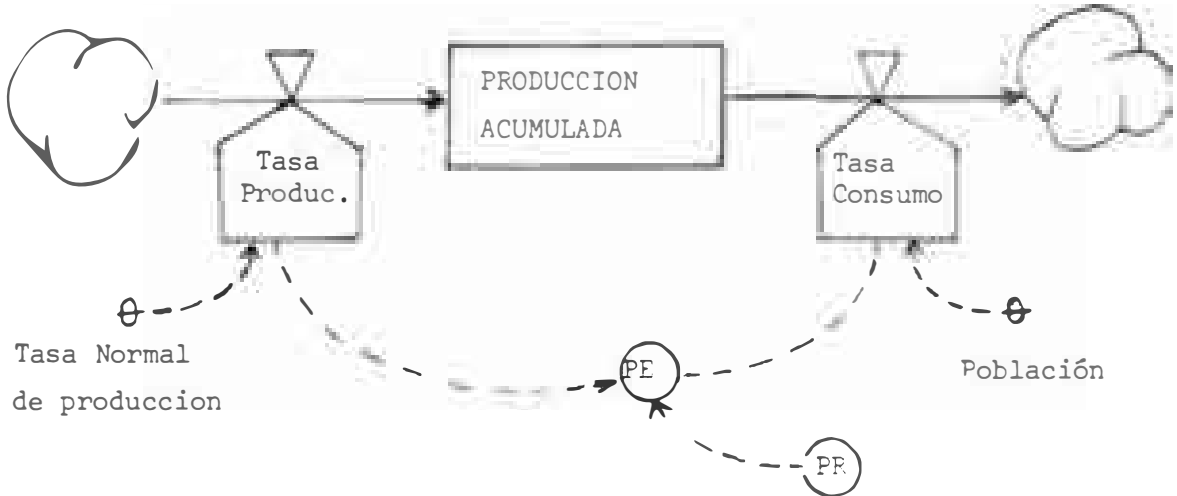
El simbolismo de la representación de cada una de las variables en el diagrama se basa en elecciones arbitrarias que se seleccionan con el fin de destacar y establecer los aspectos particulares del modelo en estudio. (16)

A fin de mostrar las posibilidades de un sistema dinámico presentaremos dos modelos, el primero relativamente simple que interrelaciona los parámetros fundamentales de este proceso: oferta-precio-demanda, el cual permite apreciar la posibilidad de predicción de precios.

El segundo modelo, en cambio, está destinado a examinar como varían algunos de estos parámetros en función de los otros. A esta acción se llama prueba de políticas, ya que nos indica que ocurren con los diversos factores si, por ejemplo, se procede a una restricción de la producción. Otra política a probar es que sucede con la inversión, oferta, demanda, etc. si se mantiene el precio constante, políticas que como se recordará se aplicó entre los años 1942-1945.

En primer lugar, trataremos de elaborar el diagrama para las variables económicas oferta-demanda-precio.

Esto será :



Este diagrama se puede explicar de la siguiente manera

Las líneas continuas muestran el flujo del cobre desde una fuente (reservas existentes a nivel mundial) en cuya primera etapa la tasa de producción regula la cantidad anual promedio de este flujo. Considerando que, no toda la producción de un año es inmediatamente consumida el siguiente elemento en el diagrama representa tanto a la nueva producción como a las reservas existentes; a este elemento se le llama nivel dentro del módulo.

El tercer elemento es una tasa de consumo que representa el flujo anual de cobre que esta destinado a su consumo; por tanto se tendrá la siguiente relación :

$$\text{Producción Acumulada} = \text{Producción Acumulada}_{t-1} + \Delta_t (\text{Producción}_t + \text{Consumo}_t)$$

Una vez construido el diagrama de forrester podemos traducir cada uno de estos bloques en una ecuación matemática.

## ANALISIS MATEMATICO

Según los gráficos obtenidos por el computador mediante la regresión lineal podemos tener los siguientes supuestos :

. La demanda de cobre tiene un crecimiento exponencial que depende de la población en el largo plazo.

La producción tiene un crecimiento exponencial porque depende directamente de la demanda en el largo plazo.

Mediante una regresión lineal calculamos la recta para el consumo y la producción en función del tiempo. Pero previamente estas curvas exponenciales serán linealizadas.

Esta recta estimada permitirá calcular la demanda y la producción teórica de cobre para los años 1980, 1985 , 1990. A continuación mostramos los cálculos realizados :

Dada la ecuación lineal de demanda

$$Y = 162.3 + 61.32 X_1$$

Donde :

Y años

$X_1$  = demanda (D)

Se calcula la demanda teórica del año 1980, para determinar el margen de error existente entre la demanda teórica calculada y la demanda real existente :



$$\text{Log } D = \frac{Y + 162.3}{61.32}$$

$$D_{t_{80}} = \text{Anti Log } \frac{80 + 162.3}{61.32}$$

$$D_{t_{80}} = 3.9514024$$

$$D_{T_{80}} \text{ (Demanda Teórica)} = 8'941 \quad D_{R_{80}} = 9'295.0$$

Debido a la experiencia y basados en la teoría de los Modelos de Koyck (15) Decimos que los pesos o ponderaciones (Wi) son continuamente decrecientes siguiendo un patrón de una progresión geométrica o sea que los valores de  $X_i$  más cercanos ejercen más influencia sobre la variable dependiente que los más alejados. Por lo cual calculamos las demandas teóricas ( $D_T$ ) de los años anteriores 1975 y 1970.

$$D_{T_{75}} = \text{Antilog } (3.869863) = 7'410$$

$$D_{T_{75}} = 7'410 \quad D_{R_{75}} = 7'247$$

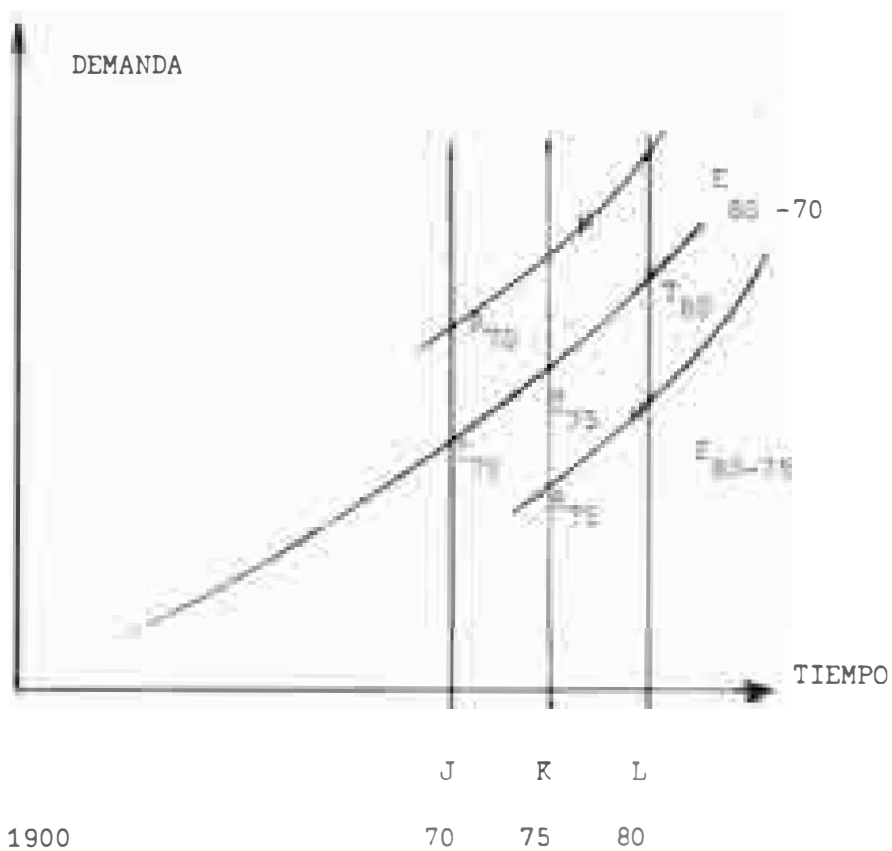
$$D_{T_{70}} = \text{Antilog } (3.7883235)$$

$$D_{T_{70}} = 6'142 \quad D_{R_{70}} = 6'664$$

Luego calculamos la Demanda estimada ( $D_E$ ) para el año de 1980, mediante la relación estadística .

$$\text{Demanda } E(L) = D_T(L) + (D_R(K) - D_T(K))$$

En el siguiente gráfico podemos observar estos tiempos



$$\begin{aligned}
 DE_{80-75} &= T_{80} + (R_{75} - T_{75}) \\
 &= 8,941 + (7,244 - 7,410) \\
 &= \underline{8,775} //
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DE_{80-70} &= T_{80} + (R_{70} - T_{70}) \\
 &= 8,941 + (6,600 - 6,142) \\
 &= \underline{9,399} //
 \end{aligned}$$

De acuerdo a las ponderaciones tendremos que la demanda de 1975 es más significativo para la predicción de la Demanda estimado de 1980 que la de 1970.

Esto será

$$\begin{aligned}
 DE_{80-75} &= 8'775 \times 2 \\
 DE_{80-70} &= 9'399 \times 1
 \end{aligned}$$

Después de estos calculos obtendremos la Demanda Teórica de 1980 que nos servirá para compararlo con la Demanda Real de ese mismo año. La diferencia entre estas dos cantidades demandadas nos permitirá conocer el porcentaje de error de la Demanda teórica.

$$E_{80-75-70} = \frac{2 \times 8,775 + 9,399}{3}$$

$$\frac{8,983}{\quad} //$$

$$D_{\text{Real } 80} = 9,120$$

$$D_{\text{Teórico } 80} = 8,941$$

$$D_{\text{Real } 80} - D_{\text{T } 80} = 179$$

$$\text{Porcentaje de error} = 1.92\%$$

$$\text{Antilog} \left( \frac{85 + 162.3}{61.32} \right)$$

$$D_{\text{T } 85} = \text{Antilog.} ( 4.032941 )$$

$$D_{\text{T } 85} = 10'788$$

$$D_{\text{T } 85} = \text{Antilog.} \left( \frac{90 + 162.3}{61.32} \right)$$

$$D_{\text{T } 90} = \text{Antilog.} ( 4.11448 )$$

$$D_{\text{T } 90} = 13'016$$

Para calcular la producción de estos años seguimos el mismo procedimiento que utilizamos en la determinación de las demandas.

La ecuación lineal de producción es

$$Y = 158.4 + 59.8 X_1$$

Donde

Y = en el año

$X_1$  = es la producción (P)

$$P_{T_{80}} = 9'696 \qquad P_{R_{80}} = 9'154.2$$

$$P_{T_{75}} = 7'998 \qquad P_{R_{75}} = 8'262.8$$

$$P_{T_{70}} = 6'593.2 \qquad P_{R_{70}} = 6'757.0$$

$$\begin{aligned} P_{E_{80-75}} &= T_{80} + (R_{75} - T_{75}) \\ &= 9'960.8 \end{aligned}$$

$$P_{E_{80-70}} = T_{80} + (R_{70} - T_{70})$$

$$P_{E_{80-70}} = 9'854.8$$

$$\frac{2 ( 9'960.8 ) + 9'859}{3} \quad 9'926.84$$

$$\begin{array}{rcl} P_{\text{Real}}_{80} & = & 9'154.2 \\ & & \left. \vphantom{P_{\text{Real}}_{80}} \right\} \text{diferencia } .772.6 \\ P_{\text{Teórico}}_{80} & = & 9'926.84 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Real} & - & \text{T} \\ 80 & & 80 \end{array} = 772.6$$

---


$$\text{Porcentaje de error} = 8.44 \%$$

$P_T$	$85$	$11'755.741$
-------	------	--------------

$P_T$	$90$	$14'249.5$
-------	------	------------

Estas demandas y producciones teóricas nos servirán para alimentar la información necesaria en el programa dynamo de simulación, elaborado para predecir los precios futuros del cobre en el mercado internacional para los años 1985 y 1990.

Este programa dynamo está formado por las siguientes ecuaciones:

dónde **PACUM** se refiere a la producción acumulada de cobre.

PACUM	ecuación de nivel
TDP	tasa de producción
TDC	tasa de consumo
p	precio del cobre en centavos de dolar
PE	precio esperado en centavos de dolar

El precio esperado y el precio corriente se consideran como variables auxiliares en el modelo. El precio esperado ( PE ) estará determinado por la siguiente ecuación :

$$PE.K = (-4.910 + 0.00892 * TDC.JK - 54.31 + 1.5 * TIME.K) / 2$$

Para llegar a esta determinación, se tiene en cuenta que los precios reciben más influencia del consumo que de la producción de cobre. Esto se puede comprobar porque, el coeficiente de ajuste que relaciona estas variables es de 93.4 % . Lo que nos indica que el precio es directamente proporcional al consumo.

$$Y = -4.910 + 0.00892X_1$$

↑ precio
↑ consumo

Otro factor que se tiene en cuenta para estimar la variable auxiliar ( PE ) es el tiempo, con un porcentaje de ajuste de 90.9 % . La ecuación lineal que considera esta relación es la siguiente

$$Y = -54.31 + 1.552X_1$$

El segundo modelo se hará más complejo por la presencia de otros factores que influyen en la determinación de los precios del cobre.

Para este modelo consideramos las siguientes variables:

PT	Producción total de cobre
PRES	Precio esperado
IRC	Inversión de capitales
TIP	Tasa inicial de producción
TDP	Tasa de Producción
TDC	Tasa de Consumo
TECPRE	Tasa esperada de cambio de precio
TDI	Tasa de Inversión
PR	Precio del cobre
DCC	Demanda del cobre para el consumo
ID	Inversión deseada
DAPES	Delay de precios esperados
DADY	Delay de ajuste de inversión de capital
POB	Población
SUST	Sustitutos del cobre (Aluminio, Zinc, Plástico, fibras de vidrio).

Estas variables pueden clasificarse en variables de nivel, flujo y variables auxiliares. Entre las variables de nivel podemos considerar las siguientes:

PT	Producción total
PRES	Precio esperado
IRC	Inversión de capital

Entre las variables de flujo que se consideran significativas tenemos:

TIP	Tasa inicial de producción
TDP	Tasa de producción
TDC	Tasa de consumo
TECPRE -	Tasa esperada de cambio de precio
TDI	Tasa de inversión



Las decisiones controlan las tasas de flujo, pero para obtener una descripción inicial del modelo frecuentemente es más efectivo pensar en función de tasas que en función de las decisiones correspondientes.

Las variables auxiliares que se consideran en el modelo se definen para la representación de conceptos que son significativos en la descripción de nuestro modelo de precios. Entre estas variables - podemos citar:

PR	Precio del cobre
DCC	Demanda del cobre para el consumo
ID	Inversión deseada

Las constantes que consideramos en el modelo son:

POB	Población
SUST	Sustitutos de cobre

Además de estas variables debemos anotar la existencia de demoras de tiempo en el modelo que se representan por "paquetes" que consisten en una combinación de variables de nivel y flujo. La demora en la producción de cobre se considera como una variable importante del modelo de precios.

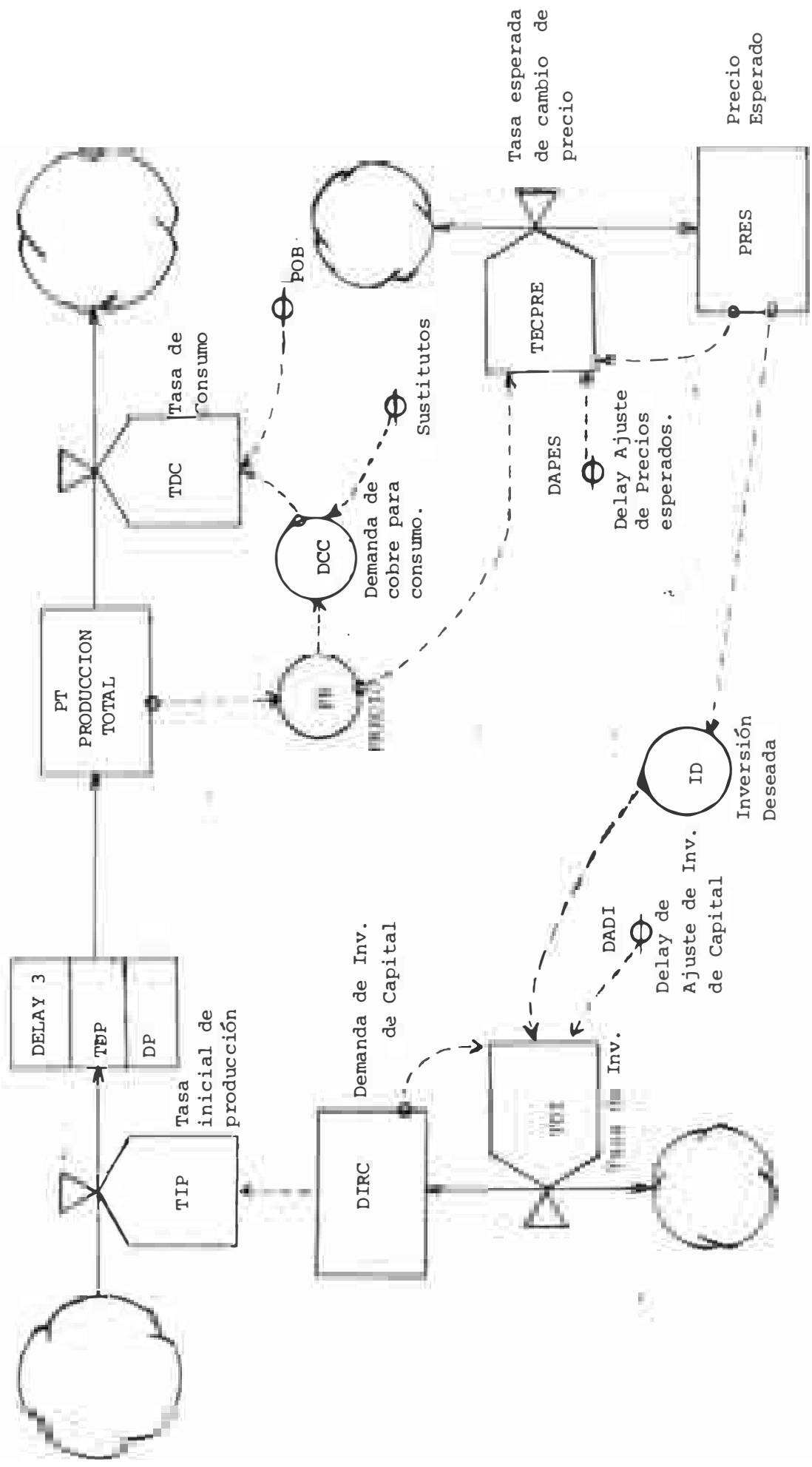


DIAGRAMA DE FORRESTER DEL MODELO

### 3.6 APLICACIONES EN EL MODELO Y SU PROGRAMACION

Una vez elaborado el diagrama de forrester se puede obtener el modelo matemático del sistema de precios, puesto que cada uno de los bloques que intervienen en el mismo lleva asociada una ecuación matemática que caracteriza la función realizada por dicho bloque. Para los propósitos de evaluación numérica, analizaremos las siguientes ecuaciones:

Las ecuaciones de nivel que representaremos son: la producción, precios esperados y el capital invertido.

La ecuación de la producción total (PT) define un nivel simple en el cual fluye una sola tasa de ingreso y del cual fluye una sola tasa de egreso.

$$L \quad PT.K = PT.J + (DT) (TDP.JK - TDC.JK)$$

PT            Producción total de cobre  
(toneladas de cobre/año)

TDP           Tasa de producción  
(toneladas de cobre/año)

TDC           Tasa de consumo  
(toneladas de cobre/año)

DT            Delta de tiempo (intervalo de solución)

La ecuación calcula el número de toneladas de cobre en el año presente K, basada en la producción total de cobre, en el tiempo J, y en las tasas de entrada de flujo y salida de flujo durante el intervalo de tiempo JK entre los cálculos de PT.

Las tasas de entrada y salida de flujo se presumen constantes du -

rante el intervalo JK (el intervalo de tiempo debe ser lo suficiente corto como para hacer de esto una presunción satisfactoria).

La longitud del intervalo de tiempo DT multiplicada por la tasa de flujo de entrada TDP.JK da la nueva producción obtenida en el intervalo JK. De igual forma (DT) (TDC.JK) da el nuevo consumo de cobre en el intervalo JK.

La segunda ecuación describe el nivel de precio promedio esperado (PRES) en el tiempo presente K (que estará dado por un promedio previo de precios).

$$L \quad \text{PRES.K} = \text{PRES.J} + (\text{DT}) (\text{TECPRE.JK})$$

PRES - Precio esperado

TECPRE Tasa esperada de cambio de precio

DT - Delta de tiempo (intervalo de tiempo)

El precio esperado en el tiempo presente K estará dado por el valor previo del precio esperado en el tiempo J, más la tasa esperada de cambio de precios durante el último intervalo de tiempo - (TECPRE.JK).

La tercera ecuación describe el nivel de inversión de capital IRC en el tiempo presente K estará dado por el valor previo de la inversión de capital en el tiempo J, y la diferencia entre la tasa de inversión durante el último intervalo de tiempo TDI.JK y la inversión de capital promedio anteriormente computada IRC.J

$$L \quad \text{IRC.K} = \text{IRC.J} + (\text{DT}) (\text{TDI.JK} - \text{IRC.J})$$

IRC	Inversión real de capital (millones de dólares/año)
TDI	Tasa de inversión (millones de dólares/año)
DT	Delta de tiempo (intervalo de solución)

Las ecuaciones de tasa que presentamos son: tasa inicial de producción, la tasa de consumo, tasa esperada de cambio de precio y la tasa de inversión.

La tasa inicial de producción (TIP) para el tiempo KL estará determinada por la cantidad de inversión de capital en el tiempo presente K.

R	$TIP.KL = IRC.K$
TIP	= Tasa inicial de producción (toneladas de cobre/año)
IRC	= Inversión de capital (millones de dólares/año)

La tasa de consumo (TDC) estará determinada por el producto de la población y la demanda para el consumo de cobre.

TDC.KL	= $POB * DCC.K$
TDC	Tasa de consumo
POB	Constante de la población
DCC	Demanda para el consumo de cobre

Esta ecuación define la tasa de consumo durante el intervalo de tiempo subsiguiente KL.

La tasa esperada de cambio de precio (TECPRE), estará determinada -

por la diferencia entre el precio real y el precio esperado en el tiempo presente corregido por una fracción de tiempo de ajuste de precios esperados.

$$TECPRE.KL = (P.K - PRES.K) / DAPES$$

TECPRE	Tasa esperada de cambio de precio
PRES	Precio esperado
PR	Precio del cobre
DAPES	Delay ajuste de precios esperados

La tasa de inversión (TDI) estará corregida por una fracción de la diferencia entre la inversión deseada y la inversión real de capital

$$R \quad TDI.KL = (ID.K - IRC.K) / DADCA$$

TDI	Tasa de inversión (millones de dólares/año)
ID	Inversión deseada (millones de dólares/año)
IRC	Inversión de capital (millones de dólares/año)
DADCA	Delay adquisición de capital

Las ecuaciones auxiliares que se evaluarán en este modelo son las siguientes:

El precio real del cobre que estará dado por una tabla que relaciona los precios del cobre con la producción total de cobre. La no linealidad se introduce por puntos, por ello las no linealidades se denominan, también tablas.

$$A \quad PR.K = TABLE (PRT, PT.K, PT1, PT5, \Delta)$$

$$PR.T = PR1, PR2, PR3, PR4, PR5$$

La segunda de las sentencias indica los valores tomados por PR para los valores de PT indicadas en la primera de las sentencias.

Es decir, los valores  $PR = f(PT_i)$ , para  $i = 1, 2, 3, 4$ , y 5.

La demanda de cobre para el consumo estará dado por una tabla que relaciona el precio real del cobre con su demanda para el consumo.

$$A \quad DCC.K = TABLE (DCCT, PR.K, PR1, PR5, A)$$

$$DCC = DCC1/DCC2/DCC3/DCC4/DCC5$$

La inversión deseada es una variable auxiliar que depende de una tabla que relaciona los precios esperados del cobre con la cantidad de capital para la inversión.

$$A \quad ID.K = TABLE (IDT, PRES.K, PRES1, PRES5, A)$$

$$IDT = IDT1/IDT2/IDT3/IDT4/IDT5$$

Además de estas ecuaciones debemos anotar la existencia de las demoras que matemáticamente toman la forma de ecuaciones de nivel y tasa.

Esta demora es de tercer orden y su ecuación en Dynamo es:

$$TP.KL = DELAY 3 (TIP.JK, DP)$$

Donde:

DELAY 3 = es una demora de tercer orden

DP = delay de producción (puede ser una constantes)

Debe especificarse que el sistema de ecuaciones especificado en es te modelo es mecanizado con el lenguaje Dynamo por ser el más adecuado para la simulación de cualquier sistema de realimentación.

Los listados siguientes son pasadas por el computador que produjeron los gráficos siguientes:

Las ecuaciones estan anotadas en forma standar y se explican a si mismas y las condiciones iniciales son para un flujo inicial estable.

Las secuencias de cómputo estará dado por una impresión de valores computados resultantes de las ecuaciones. Se utiliza un intervalo de solución  $DT=0.5$  año, y se imprimen todos los computos. Finalmente tenemos el ejemplo de secuencia de cómputo con resultados gráficos. Al comienzo del gráfico están impresas las designaciones de las variables y los símbolos utilizados para representar las variables en el gráfico.

Después vienen las escalas a las cuales se las grafica en el cuerpo principal del gráfico se imprime al tiempo a lo largo de la base.

Los grupos de letras sobre el margen superior indican el lugar en que las curvas se han cruzado en el gráfico.

Dentro de cada grupo, la primera letra designa la letra que aparece en el gráfico, y las letras siguientes son las que también están representadas por la primera (17).

(17) Pagh, Alexander L.; II Dynamo User's Manual, The MIT-PRESS, Cambridge, Mass. 1961



## C A P I T U L O   I V

### IV   ANALISIS ECONOMICO DEL MODELO PRESENTADO

La finalidad de este trabajo es mostrar el comportamiento de los precios del cobre en el mercado internacional. Dado que el mercado internacional es el mundo entero, pretender conocer el mercado significa querer saber que pasa en cada momento en el mundo entero y cada cosa que sucede, como se espera que se refleje en los precios del cobre.

Para poder tener una idea más completa de como se determinan estos precios elaboramos un modelo, que nos explique el comportamiento de los precios del cobre en el mercado internacional desde 1900 hasta 1980 considerando los parámetros principales oferta-precio-demanda.

La finalidad principal de esta investigación es explicar el comportamiento de las variables que determinan este precio en el mercado mundial.

En tal sentido, pretendemos mostrar que sólo un ambicioso enfoque multidisciplinario podrá aproximarnos a la difícil tarea de la explicación y pronóstico en materia económica. Aunque esto pueda parecer obvio para todos los científicos sociales, para periodistas, empresarios y políticos, no es compartido por los economistas ortodoxos que se precian serios ( y que cuestionan por demagógicos a quienes pretenden introducir determinantes más vastas y el instrumento de de sociólogos y politicólogos al análisis económico).

#### 4.1 INTERPRETACION ECONOMICA DE LOS MODELOS

En el primer modelo presentado se han considerado los valores de los parámetros principales (oferta-precio-demanda) agrupados en períodos de cinco años, obteniéndose el promedio anual por período. Esta modalidad compensará a los valores extremos, obviando de esta manera la influencia de la especulación, rasgo característico del mercado de metales. Se presume que una política de acumulación de reservas tiene un plazo determinado al cabo del cual los stocks tendrán que ser lanzados al mercado. Puede verse, en consecuencia, que la interacción oferta-precio-demanda se presentará con mayor pureza si se ve el fenómeno desde un punto de largo plazo.

El precio es una función dependiente de la demanda y la producción acumulada, por lo cual, para efectuar una predicción del mismo se ha tenido que extrapolar los valores de los dos primeras variables.

La extrapolación a que se hace referencia en el párrafo anterior ha tomado en cuenta la naturaleza exponencial de su crecimiento, característica que ha sido verificada por los datos reales, dando un ajuste de 98.4% para la demanda y de 98.3% para la producción valores que son altamente confiables.

El crecimiento de esta naturaleza se explica por su relación con el crecimiento de la población, que como se sabe se comporta exponencialmente. En un modelo más preciso podría considerarse el au-

mento de consumo de cobre per-capite a través del tiempo lo cual daría lugar a una pequeña diferencia, con presunción asumida.

Los gráficos 1 y 2 evidencian la corrección de los postulados anteriores.

El segundo modelo nos permite analizar un listado que nos muestra las gráficas del comportamiento del precio, demanda y oferta del cobre en función de otros factores determinantes del precio. Los resultados obtenidos de la simulación nos muestra el comportamiento de las diferentes variables del modelo desde un punto de vista a largo plazo.

El ritmo de crecimiento de la oferta del cobre, como podemos observar historicamente han dependido de los niveles de precios del metal rojo. Pero, actualmente los stocks de cobre superan los dos millones de toneladas, situación que deprime el precio de la materia prima, pues aún cuando de hecho existe una organización (CIPEC) para asegurar niveles justos y estables para la materia prima, observamos que ha faltado eficiencia en una acción concertada de los productores para corregir la situación de exceso de abastecimiento.

A medida que los precios comienzan a elevarse y cuando la situación de abastecimiento parece tensa, existe una tendencia a tener un stock adicional de cobre. Esto por supuesto, es bien conocido como una política fuertemente inestabilizadora que tiende a subir aún más los precios y a cortar la oferta disponible.

En el caso del cobre hay que tomar en consideración la fuerte expansión de la capacidad de producción de la pasada década, estimulada por los altos precios reales que ocurrieron en algunos años. En este sentido, la presente crisis de la industria cuprífera estaría destinada a corregir dicha situación.

En el largo plazo, la principal amenaza de sustitución que enfrenta el cobre proviene de las fibras ópticas. Sin embargo, el costo de tal medio de transmisión de información continuaría superando el de los medios tradicionales, que utilizan cobre. Por consiguiente, el porcentaje de sustitución de cobre por este concepto debe ser reducido y limitado a los medios más sofisticados de transmisión de información.

De lo anterior expuesto se quiere explicar brevemente la actitud adoptada ante las variables nivel de empleo, niveles de stock de cobre y los productos sustitutos del cobre que no figuran en nuestro segundo modelo por la falta de información estadística que nos impide cuantificar estas variables.

No pretendemos hacer una aplicación que incluya a todas estas variables ya que se requeriría mayor tiempo para la recolección de datos estadísticos. Pero, sin embargo; se trata de establecer las relaciones más importantes de este modelo.

## 4.2 SIMULACION

En la modelística económica el enfoque básico como objetivo no es solamente la reproducción de los modos de comportamiento del sistema con fines de simulación sino su manejo eficaz.

Esta idea es generalmente truncada por las dificultades que implica la interfase simulación-control. En nuestro caso como todo país con evidentes necesidades sociales necesita en mayor grado el manejo perfecto de los recursos y de su organización.

Por modos de comportamiento entendemos las tendencias de cambio de las variables del modelo conforme avanza el tiempo. Una variable puede aumentar, disminuir, permanecer constante, oscilar o cambiar muchos de estos modos característicos.

El proceso de simulación que se ha utilizado para obtener nuestros resultados óptimos se ha resumido en un diagrama de flujo que se muestra en la figura No.4.2.1.

En la medida que hemos especificado la estructura del primer modelo de precios en función de la oferta y demanda del cobre a nivel mundial, utilizando como muestra la información del período 1900-1980 para estimar sus parámetros; estamos en la posibilidad de analizar las características o propiedades del modelo.

Para luego ser plasmadas en el programa de simulación de precios elaborada. Dando como resultado las proyecciones de los precios para los años 1985 y 1990.

Esto es lo que llamamos las proyecciones del modelo, para lo cual necesitamos los valores que puedan asumir las variables exógenas, las cuales van a determinar a las variables endógenas.

nas del modelo.

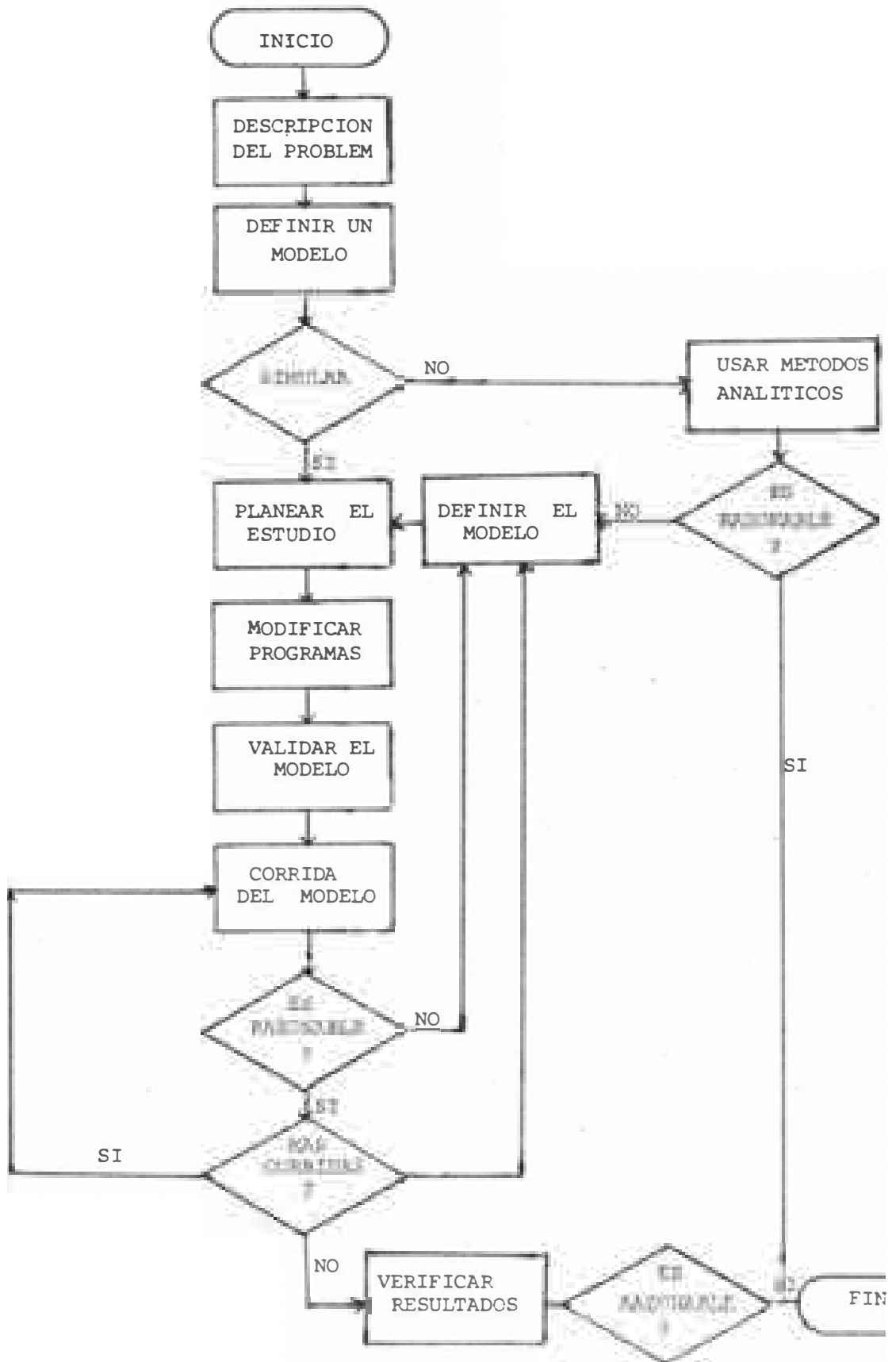
Nuestro segundo modelo, en cambio esta destinado a examinar como varían algunos de estos parámetros en función de otros. A esta acción se le puede llamar prueba de políticas, ya que nos indica que ocurre con los diversos factores si, por ejemplo, se mantiene los precios constantes, política que - puede ocurrir nuevamente.

En este caso podemos observar que los resultados de la simulación nos muestran un comportamiento constante para el consumo y los precios esperados a través del tiempo.

En el primer gráfico mostramos que tanto la demanda como la producción tratan de llegar al equilibrio en el largo plazo ya que la amplitud y períodos de las curvas van disminuyendo hasta juntarse. Por otro lado, podemos observar que el comportamiento de la curva de inversión, seguira al comportamiento de los precios esperados (PRES). Ya que a mayores precios del metal habrá mayor incentivo para la explotación de minas.

Dado los actuales niveles de precios del metal y los costos requeridos, será necesario una elevación sustantiva de las mismas, a partir de los niveles presentes para que sea rentable las inversiones en nuevos proyectos. Según fuentes - diversas, el nivel de precios que justificaría la inversión en nuevos proyectos fluctuaría entre 1.30 y 1.50 \$/lb. Por otro lado, el costo de capital de un proyecto integrado desde mina a refinería fue de \$7,800/TM en 1980 y en 1985 y 1990 sería de \$11,700 y \$17,000 por TM de capacidad instalada, - respectivamente. En consecuencia, en el mediano plazo los precios del cobre deben mejorar sustantivamente de sus actuales niveles para que no ocurra una escasez del mismo.

FIGURA 4.2.1



En todo modelo de simulación se presentan distintos tipos de error. Los tipos de error que aparecen en un modelo pueden clasificarse, de acuerdo con su origen, en debido a:

- 1) Cálculo numérico,
- 2) Estructura del modelo y
- 3) Parámetros del modelo y condiciones iniciales

Los errores del segundo tipo son, sin duda, los más importantes, pero en la actualidad se carece de métodos adecuados para estudiarlos. (18)

Los parámetros que aparecen en un modelo no lineal, como los que se construyen con ayuda de la dinámica de sistemas se pueden clasificar en dos grupos. El primero está constituido por los parámetros que representan constantes que aparecen en el modelo. Estas constantes, como por ejemplo la población, suelen tener un significado real perfectamente establecido. - El segundo grupo de parámetros que aparecen en un modelo está formado por aquellos parámetros con los que se definen las no linealidades o tablas. Estas no linealidades, o tablas, pueden representarse por medio de gráficas bidimensionales.

El hecho que las relaciones que existen entre las variables - sean matemáticas, no conducen necesariamente a que sus relaciones sean exactas en el sentido de que necesariamente tienen - que cumplirse.

La importancia de estos modelos radica en la aplicación de una nueva técnica que es la dinámica de sistemas para la interpretación de la realidad económica.



#### 4.3 IMPORTANCIA DE LA MINERIA EN EL PERU

La producción y el ingreso generado constituyen la expresión de la importancia que tiene una actividad en la economía del país. Para una mejor comprensión de la misma, es necesario revisar la historia.

La evolución económica del Perú ha estado influenciada por el comportamiento de sus relaciones económicas e importaciones y por el ingreso de capitales en inversiones directas o en forma de préstamos para el sector Privado o Público. También, por la salida de capitales por remisión al exterior de utilidades y pago de los préstamos.

En estas relaciones económicas internacionales, le ha tocado a la Minería un papel de singular importancia. Refiriéndonos sólo al último siglo, la exportación del salitre y guano fueron determinantes del auge económico del país, en general, y de los gastos e inversiones públicas en particular.

El privilegio de disponer de recursos naturales ha llevado al Perú a depender del sector externo. En el año 1950 por ejemplo, la exportación de productos agropecuarios y mineros aportaron las 3/4 partes del ingreso de divisas por este concepto.

A partir de la década de los sesenta, el sector minero se convierte en el principal sostenedor de la capacidad de pago con el exterior.

Aún cuando el porcentaje que representa el producto minero de la producción total del país no es más significativo que el industrial

se puede decir que el comportamiento del sector minero se ha mantenido en estrecha correlación con el crecimiento general.

Cuando la Minería creció a un promedio anual de 10.2% en la década del cincuenta, el país lo hizo en 5.5% y la significación de este sector pasó de 6.3% del producto total de 1950 a 8.7% para 1960.

En la siguiente década, la Minería creció en 8.2% al año y el país lo hizo en 5.3%. Esta disminución en el ritmo de desarrollo la llevó a significar el 8.2% del producto total de 1970.

En la última década la Minería crece a una tasa de 6.0% y el país lo hace a una tasa de 3.5%. (19)

Estos porcentajes están influenciados por el efecto de los dos grandes proyectos mineros de Cobre de Cuajone y Cerro Verde y el efecto de la extracción de petróleo, los que se dan a partir de 1977. Debido a la depresión de los otros sectores de la economía la Minería, pasa en 1980 a constituir el 9% del producto total del país.

Cuando la minería se deprimió por efecto de la disminución del nivel de precios internacionales como ocurrió en los períodos 1971 - 1972 y 1975 - 1976, ejerció fuerte influencia en la disminución de la producción total del país de 1977 y en el estancamiento del año 1978.

La significación de la Minería en la economía del país y su aporte al desarrollo puede enfocarse desde varios aspectos. Es relevante el caso de las divisas, también la ocupación directa e indirecta que genera, la promoción del desarrollo industrial, su significa-

ción en el ingreso fiscal y su influencia en el desarrollo regional.

En lo que respecta a su aporte en el ingreso de divisas por exportaciones, se observa que sólo cinco productos mineros (Cobre, Plomo, Zinc, Plata y Hierro), han llevado a este sector, desde el inicio de la década del 60 a convertirse en el principal renglón de exportaciones.

En esta década, el desarrollo minero desplazó a un segundo lugar de importancia a los productos agropecuarios, entre los que destacaban el algodón, azúcar, café y lanas. Luego, estos se vieron desplazados al tercer lugar por los productos pequeños en la década siguiente.

En el año 1980 destacan el petróleo y los productos no tradicionales en el ingreso de divisas por exportaciones.

En el aspecto de la ocupación, resulta evidente que la minería como actividad intensiva de capital, no puede constituirse en forma directa, en una fuente de trabajo masivo. Sin embargo, los 70,000 trabajadores de la Minería Metálica y sus familiares llegan a reunir una población dependiente de la Minería de más de 450,000 personas que viven en los centros mineros, en formaciones urbanas cuyos gastos de mantenimiento están a cargo de las empresas mineras.

De esta manera, alrededor del 2.8% de la población total del país depende directamente de la actividad minera. Se estima

(19) (20) Roger Arévalo Ramírez - Economista Jefe del Dpto. de Estudios Económico de la Sociedad Nacional de Minería y Petróleo. Revista Minería 1981 - pág. 101.

que esta proporción se triplica si se considera la ocupación indirecta como resultado del efecto que ejercen las compras de bienes y servicios que favorecen al desarrollo industrial, así como la incidencia de las ventas de metales que sirven de materia prima para la industria manufacturera. Más aún, si se tiene en cuenta la ocupación que proporciona el Estado al gastar el tributo que se capta de la Minería, que en 1980 llegó a significar alrededor del 30% del ingreso fiscal total. Aunque las ventas internas de metales para la industria son todavía poco significativas, debido al insuficiente desarrollo industrial de transformación, se puede decir que esta actividad ha venido apoyando cada vez más al desarrollo industrial a través de sus compras de maquinaria, materiales y otros insumos que requiere para el desarrollo de sus operaciones. Debido a las características de desarrollo del Perú, de tipo centralizado en las ciudades, principalmente en la capital, y por la depresión de su actividad agrícola a través del tiempo la actividad minera ha constituido una influencia significativa en el desarrollo regional. Esto se comprueba al observarse los distintos niveles de vida y de actividad económica de las zonas donde existe desarrollo minero, en comparación con los lugares donde no hay actividad minera. Todo este efecto sobre la economía nacional, debe ser considerado en la programación del desarrollo del país.

## V. CONCLUSIONES

Los aspectos teóricos de esta tesis han sido diseñados con el fin de darle un marco teórico adecuado a los modelos dinámicos construidos. Al mismo tiempo que para examinar las interrelaciones entre diversos aspectos tales como la oferta, la demanda y el precio. Algunas de las diversas conclusiones que pueden extraerse de este estudio pueden ser:

### A) SOBRE LA IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL MERCADO DE COBRE.-

- 1) Para países como el nuestro en vías de desarrollo. La estrategia del incentivo a la inversión y la política de exportación en el sector minería; es una buena alternativa - para generar riqueza por las divisas que entrarían al país, punto de partida para una consiguiente elevación del grado de elaboración del producto.
- 2) En el caso del Perú el cobre significa el 20% del ingreso - de divisas al país, por lo que su aporte en el desarrollo - será muy importante.
- 3) Un desarrollo planificado de la actividad cuprífera está íntimamente ligado a la mantención del equilibrio de la balanza de pagos o por lo menos, a la reducción de su deterioro.
- 4) Dada la existencia en el Perú, de un gran potencial de reservas de cobre (103 millones de TMF), un volumen probado - de las mismas (25.5 millones de TMF) y una reducida explotación de dichas reservas (1.3% de su total), se podría formular políticas de desarrollo de largo plazo basadas en la explotación racional del recurso con una capacidad de producción de hasta 4 veces más de la actualmente existente.
- 5) El período de crecimiento de la actividad industrial en los países desarrollados está directamente vinculado con el

consumo del cobre. Esta razón y su aplicación en el campo militar, han dado lugar a que se le considere metal estratégico.

B) SOBRE LAS CARACTERISTICAS DEL MERCADO DE COBRE.-

- 6) El precio de los metales, y en este caso del cobre, juega un papel fundamental en la viabilidad de los proyectos por cuanto la ley mínima explotable del mineral de un yacimiento está dada básicamente por la cotización del metal que contiene y del costo para producirlo. Definida esta ley mínima se determina el volumen de lo que se considerarán reservas. o sea, que si los precios bajan, automáticamente sube la ley mínima, reduciéndose por tanto, el volumen de reservas del mineral en proporción a esta reducción del precio y viceversa.
- 7) El precio fluctua con más rapidez que la tasa de producción. A medida que cambia aquel se efectúan un ajuste relativamente lento en la tasa. En tanto caen los precios, algunos productores se encuentran incapacitados de operar con utilidad y finalmente reducen la producción. De manera que el productor tiene pocas alternativas a corto plazo, excepto la de continuar produciendo y esperar que los precios se recuperen.
- 8) Como para las demás materias primas, no hay duda de que la disponibilidad del cobre influye sobre la demanda y que, correlativamente, la amplitud de la demanda actual influye sobre la oferta a largo plazo. Estos dos elementos están ligados con el factor precio, que tiende a establecer entre ellos un equilibrio aproximado.
- 9) Los costos de producción variables (trabajo y materiales) son pequeños comparados a los costos fijos. Así en el corto plazo la producción del bien será relativamente insensible a los cambios de precio.

C) SOBRE LOS MODELOS DINAMICOS DE MERCADO DE COBRE.-

- c1) Propósito y ventaja de la técnica de sistemas dinámicos aplicados al economía.
- 10) Los modelos dinámicos son los que mejor explican el comportamiento de la oferta, demanda y precio del cobre, razón por la que esta constituida por datos parametrizados con respecto al tiempo.
- 11) La finalidad de los modelos dinámicos no es simplemente duplicar la realidad, sino el uso de una nueva técnica que es la dinámica de sistemas que permite interpretar la realidad económica cuyos elementos son altamente dependientes por lo cual responden a los aspectos de retroalimentación.
- c2) Sobre algunos resultados obtenidos en los ejemplos de modelos aplicados al cobre.
- 12) Así mismo podemos observar en los gráficos la presencia de variables como: la inversión inicial, el consumo, la producción y el precio tratan de llegar a un equilibrio a través del tiempo ya que la amplitud y períodos de las curvas van disminuyendo hasta juntarse.  
Esto se puede interpretar como un equilibrio en el largo plazo.
- 13) La variación de los precios del cobre no solo se refleja por la relación existente entre la oferta y la demanda en el mercado internacional. Durante el análisis hecho a este modelo se puede observar que hay variables exógenas que influyen de terminantemente en la variación de los precios del cobre.  
Entre las más importantes podemos citar a la tendencia de los países a tener un stock adicional de cobre.  
Esto es conocido, como una política fuertemente inestabilizadora que tiende a subir más los precios y a reducir la oferta disponible.

- 14) Los precios de regresión y correlación efectuadas muestran que la influencia de la información reciente debe tomarse con un peso mayor que los datos correspondientes a épocas anteriores. Este procedimiento de trabajo originará que las extrapolaciones realizadas tengan una mejor aproximación a la realidad.
- 15) Según los resultados obtenidos podemos observar que el comportamiento de la curva de producción y de consumo son exponenciales a través del tiempo. Mientras que la curva de precios es muy variable con picos altos y bajos, lo que nos muestra la inestabilidad que existe en esta variable.



## B I B L I O G R A F I A

INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES, LONDRES

World Mineral Statistics 1942 - 1980, Producción, Export, Imports,  
London, Her Majesty's Stationery Office, 1979 pág. 216.

BANCO MINERO DEL PERU, LIMA

Programa Científico Cultural: Jueves Minero, 1979.

CIPEC (CONSEJO INTERGUBERNAMENTAL DE PAISES EXPORTADORES DE COBRE)

Revista Anual - France 1977-1980

Comisión Económica para Americalatina, Santiago de Chile

ECONOMIA MINERA-AMERICA LATINA

La minería en América Latina y su evolución reciente.

DE: Estudios Económicos de América Latina - 1972.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS

OFICINA SECTORIAL DE PLANIFICACION

ANUARIO-MINERO COMERCIAL

Anuario de la Minería 1950-1980 Estadísticas

Lima-Perú

"La Minería en el Perú" Lima-Perú 1980

SITUACION ECONOMICA-AMERICA LATINA

Estudio Económico de América Latina 1978 - Santiago de Chile

Naciones Unidas 1980.

CONGRESO MUNDIAL DE MINERIA LIMA-PERU - 1974

"Recursos Mundiales versus demanda de cobre y Aluminio hasta el  
año 2,000"-S. Wimpfen y A. Knoerr - Estados Unidos de Norte América

MINPECO S.A.

"Informe Mensual mercado Internacional de los metales"

Oficina de Análisis de Mercado Lima-1977-1980

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERU

Programación del Desarrollo del Perú 1963

RONALD PRAIN, O. - PRESIDENTE DEL GRUPO INTERNACIONAL DE SOCIEDADES  
RST.

"El futuro aprovisionamiento del cobre" Amsterdam - 1970

Conferencia organizada por el Instituto de Metales.

VARGAS BARBIERI, LUIS

"La oferta del cobre primario en el mundo" - Revista Minera  
1980 Lima.

SILENZI, ADOLFO

"Informes de recursos mineros". - 1969

PEACEY J.G.

"Producción del cobre y los avances en la metalurgia Extractiva"  
1980.

DENNIS L. MEDDOWS

"Dynamics of commodity Producción Cycles" (1970)  
Cambridge, Massachusetts.

FERDINAND E. BANKS

The World Copper Market An Economic Analysis Cambridge - 1974

JAY W. FORRESTER

Dinámica Industrial  
The MIT PRESS - Massachusetts Institute of Technology - Cambridge  
Massachusetts - 1961

JOHNSTON, J.J.

"Métodos Económicos" Ed. Vives Vives, Madrid 1970

D.L. NEDDOWS, JORGE RANDERS.

"Los Límites de Crecimiento" MIT - PRESS, 1973

ARACIL SANDOJA, JAVIER

Introducción a la dinámica de Sistemas  
Editorial Alianza S.A. Madrid 1978.

BARBANCHO, A

Complementos de Econometría. Editorial Ariel, Barcelona 1973

PUGH, ALEXANDER - MANUAL DEL LENGUAJE DYNAMO

Segunda edición Junio 1974  
MIT - Simulación de modelos Dinámicos

ESTUDIOS ANDINOS

"Modalidades de acumulación, Dinámica Socio-Política y Política  
Económica en América Latina - 1980"

LADIER, D

"Introducción to Microeconomic"  
Phillip Allan, Publishers Ltd. 1974

FRIEDMAN, M.

"Price Theorg"

Aldire Publishing Co. Chicago 1962

SAMAME BOGGIO, MARIO

"Historia de la Minería Peruana" Lima 1980

MENDEZ, JUAN CARLOS

Chilean Economic Policy-Chile Ltda 1979

RECURSOS NATURALES

Institute for Scientific Co-operation

Tubingen

Natural resources and Delelopment Vol.11

AREVALO RAMIREZ, ROGER - Jefe del Departamento de Estudios  
Económicos de la Sociedad Nacional de Minería y Petroleo  
Revista Minería - 1981