



Ana M. Martirena
do Mantol

Integración y Deconomías
do Escala

19

Separata de "EL TRIMESTRE ECONOMICO", Vol. XXXI (3), n° 123
Julio-Septiembre de 1964. México, D.F.

Instituto Torcuato Di Tella
Centro de Investigaciones
Económicas - Julio de 1965.

La autora es estudiante en la Universidad de Yalo gracias a una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Argentina y posteriormente de la OEA. Este trabajo es ampliación del que se presentó al Seminario que sobre Integración Económica dirigiera en 1963 el Profesor B. Balassa en la citada Universidad.

INTEGRACION Y ECONOMIAS DE ESCALA

El propósito de este trabajo es intentar la medición de las economías de escala que podrían obtenerse con la integración de la industria del hierro y el acero en varios países de América Latina. Debe destacarse el carácter aproximado de los resultados obtenidos debido al método usado y a que la base estadística de oferta hallada data del año 1950. (1)

La solución del problema de programación involucrado se obtuvo en el Centro de Cómputo de la Universidad de Yalo, con la computadora IEM 709.

1. INTRODUCCION

Si se observa el estado presente del comercio en productos manufacturados en América Latina, no mayor futuro puede vislumbrarse en cuanto a las posibilidades de integración económica, si éstas se juzgan de acuerdo con los conceptos estáticos de "creación de comercio" y "desviación de comercio" (15), (21). Según éstos, el beneficio social resulta de la simple comparación entre el valor total del comercio creado y el valor total del comercio desviado como consecuencia de la reducción o anulación de las tarifas aduaneras.

En el presente trabajo también se usará el método de estática comparativa, pero los beneficios se juzgarán en términos de las posibles economías de escala a obtener.

El objetivo es construir una situación hipotética de "largo plazo",

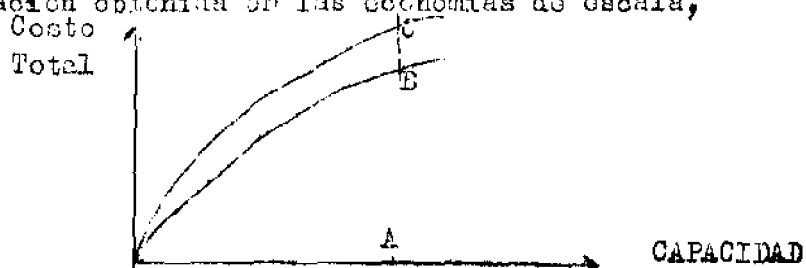
suponiendo que América Latina como un todo obtiene autarquía en productos de acero terminados, en el año 1970. El programa de producción imaginado es arbitrario y estará representado por un punto en la hiper-superficie de costes de Latinoamérica como función de su capacidad medida en términos físicos de acero producido.

Probablemente este punto es o primum un óptimo, bajo ciertos supuestos en cuanto a la protección natural que confieren los costos de transporte, las disponibilidades de cambio extranjero y la eficiencia relativa de la industria de acero latinoamericana versus la del resto del mundo. A fin de conocer con mayor precisión este óptimo, sería necesario un análisis de equilibrio general, pero tal no es nuestro objetivo por el momento.

Se compararán entonces, dos puntos-solución, bajo dos supuestos alternativos:

- 1) Caso de integración y autarquía con respecto al resto del mundo.
- 2) Caso de no integración: cada país goza de total autarquía.

Geométricamente se tienen las curvas de costos totales representadas en la gráfica, donde el punto A en el eje horizontal indica la cantidad total de acero terminado demandada por los países considerados, en 1970. Los puntos B y C representan los casos (1) y (2) respectivamente, y la distancia indicada por el segmento BC, la ganancia de integración obtenida en las economías de escala,



Estas economías de escala pueden descomponerse en dos causas, una real o tecnológica y la otra puramente pecuniaria. En nuestro caso, la distancia entre las dos soluciones, BC, mide el resultado de ambas; la causa real, debido a que menores insumos físicos se requirieron por unidad de producto; la causa pecuniaria, como consecuencia de economías tecnológicas en otras industrias, transmitidas a la industria del acero bajo la forma de menores costos monetarios.

Entonces, desde el punto de vista social, todos los ahorros en costos producidos por esta integración representan ahorros reales.

II. SUPUESTOS

Los supuestos más importantes en que se basó el estudio de costos de CEPAL, (6), base empírica de este trabajo, son:

1) En cada sitio hay una planta de acero integrada, es decir, una que produce al menos algunos de los materiales requeridos y manufactura hierro crudo, lingotes de acero y aceros terminados. Nosotros trabajaremos específicamente con la última etapa de producción, esto es, al nivel de talleres de laminación.

2) Se consideró un solo proceso de producción, el alto horno convencional con sus talleres de laminación, pero, en la etapa de refinación se introdujeron alternativas de acuerdo con características locales.

3) La composición porcentual de la demanda es la misma en todos los sitios considerados. Cada planta satisface las necesidades de su país.

4) Comparaciones con los costos de los Estados Unidos se basan en una planta hipotética situada en Sparrows Point, en la costa del Atlántico, que usa mineral venezolano.

A esta lista, añadiremos a los fines de nuestro estudio:

5) Los costos de transporte entre los distintos mercados se calcularon teniendo en cuenta la ruta más barata.

6) Debido a la flexibilidad que permiten los planes a largo plazo, no se tomó en cuenta la capacidad instalada en el presente ni el costo inicial de inversión de la capacidad futura.

III. CALCULO DEL PUNTO A, O DEMANDA DE 1970

Para ello se usó la proyección publicada por el Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero, (13).

En tal estudio, la relación entre el consumo per cápita de acero terminado, Y, y el producto bruto nacional per cápita, X, está dado por

$$\log. Y = 1.98 + 1.43 \log. X,$$

donde el coeficiente de regresión revela una elasticidad-producto de demanda de 1.43. El nivel superior de demanda de acero, calculado en base a la anterior ecuación, aparece al pie de la Tabla IV.

IV. ESTIMACION DE LAS FUNCIONES DE COSTO TOTAL

A fin de tratar las economías de escala, se postula la siguiente función de costo total que denota rendimientos crecientes a escala:

$$(1) \quad C = K P^{\alpha}$$

donde C simboliza costos totales, P capacidad medida en términos de

producción, y donde $0 < \alpha = \frac{d \log.C}{d \log.P} < 1$, es el coeficiente de elasticidad de costo.

En el caso de precio constante de factores, α iguala la recíproca de la elasticidad de productividad. La relación entre ambos coeficientes depende de la elasticidad de la oferta de factores. En general, al disminuir ésta última, α aumenta, para una elasticidad de productividad dada.

La función (1) se ajustara a los datos de costo de Sparrows Point de la Tabla I, usando el método de mínimos cuadrados.

A diferencia del estudio de Victorisz y Manne, (20), al cual mucho debe el presente trabajo, aquí tenemos que las economías de escala están presentes en todas las componentes de C .

Llamando c , k y p a los logaritmos de C , K y P respectivamente se llega mediante un proceso de minimización al sistema de ecuaciones normales, del cual se obtiene la solución para los parámetros k y a .

Si el ajuste a los datos de la Tabla I es satisfactorio, puede decirse que la industria del acero sigue la ley del $\alpha\%$. En efecto, la ecuación de regresión es:

$$c = 3.4225359 + 0.73968 p$$

$$(0.017513) \quad (0.007016)$$

donde las cifras entre paréntesis indican los errores estándar correspondientes. El coeficiente de correlación es 0.9999275.

TABLA I. Costo medio total de acero terminado en Sparrows Point (USA)

P_1	C_1/P_1
Capacidad de producción anual (Miles de Tn)	Costo medio total (en dl. de 1948)
50	155.66
250	100.93
500	83.79
1.000	71.92

FUENTE: CEPAL (6).

Dobido a que, como se observa en la Tabla II, sólo se tienen datos de dos puntos de capacidad y costos para cada país (algunos muy cercanos para un resultado significativo), hemos utilizado el mismo coeficiente de elasticidad para todos los países, esto es, el resultante del ajuste a los datos de la Tabla I. Con esta restricción, y aplican

TABLA II. Costo medio total de acero terminado en varios países latinoamericanos

Plantas	C_1/P_1	
	$P_1 = 250\ 000$	P_1 según tamaño morado en 1948
Argentina (San Nicolás)	105.32	91.66 850 000
Brasil (Volta Redonda)	102.08	85.41 716 000
Colombia (Boloncito)	76.12	76.12 250 000
Chilo (Huaquipato)	83.62	82.44 230 000
México (Monclova)	89.91	83.10 430 000
Parú (Chimboto)	81.79	88.29 150 000
Venezuela (Barcelona)	103.81	93.65 300 000

FUENTE: CEPAL (6)

do el método de mínimos cuadrados, llegamos a las siguientes funciones de costo individuales:

$$\begin{aligned}
 c(\text{Arg}) &= 3.4667144 + 0.73968 p \\
 c(\text{Brs}) &= 3.4348960 + 0.73968 p \\
 c(\text{Col}) &= 3.2865603 + 0.73968 p \\
 c(\text{Chl}) &= 3.3197024 + 0.73968 p \\
 c(\text{Méx}) &= 3.3725526 + 0.73968 p \\
 c(\text{Per}) &= 3.3056217 + 0.73968 p \\
 c(\text{Ven}) &= 3.4093715 + 0.73968 p
 \end{aligned}$$

V

Una vez obtenidas las funciones de costo, estamos en condiciones de estudiar el proceso que nos permitirá calcular el óptimo de integración. La tarea consiste en minimizar el costo total de obtener la demanda total de 1970, dadas ciertas restricciones lineales.

Debido a la presencia de rendimientos crecientes, los métodos usuales utilizados en el caso de bienes perfectamente divisibles, no pueden aplicarse. Nuestra función objetivo, es una función cóncava, cuando necesitaríamos una función lineal para aplicar programación lineal o una convexa para programación no lineal. (4), (5).

Una forma de tratar funciones no lineales involucra el uso de aproximaciones por medio de segmentos de recta conectados. En nuestro caso, tal aproximación consistió en usar dos segmentos de recta, tomando un segmento con pendiente igual a la derivada de la función de costo total al nivel de un millón de toneladas de acero terminado. Este nivel de capacidad corresponde al punto más alto para el cual se tienen datos. Más allá de este nivel, las economías de escala fueron extrapoladas. (Ver las consecuencias de este procedimiento en la sec-

ción VI).

Se necesita entonces, estimar los pendientes y las ordenadas al origen para cada segmento de aproximación. Estos parámetros se interpretan como costos variables, V_r , y costos fijos de operación, F_r , de una planta situada en el sitio r . Esto es algo arbitrario ya que depende del punto particular elegido; como se dijo en la sección I, no existen costos fijos de inversión debido a la situación de largo plazo supuesta.

Recordando (1), se tiene que, al nivel de capacidad de un millón de toneladas de acero, las siguientes relaciones, que representan la aproximación mencionada, se cumplen:

$$(2) \quad V_r = \frac{dC}{dP_r} = K_r \alpha (1\ 000\ 000) \alpha^{-1}, \text{ para } r = 1, \dots, 7$$

$$(3) \quad F_r = \left(C - \frac{dC}{dP_r} P_r \right) = K_r (1\ 000\ 000) \alpha (1 - \alpha), \text{ para } r = 1, \dots, 7.$$

Sumando a la matriz simétrica de costos de transporte de la Tabla III, los costos variables obtenidos por intermedio de la ecuación (2), obtenemos la matriz de costos medios variables de la Tabla IV, la que además, contiene información pertinente a los costos fijos logrados usando (3), y a las demandas.

TABLA III. Costos de transporte

Origen \ Destino	ARG	BRS	COL	CHL	MEX	PER	VEN
ARG	-	4.37	20.63	10.85	20.94	15.92	12.98
BRS		-	17.46	14.02	17.77	18.85	9.81
COL			-	13.88	13.57	10.03	8.85
CHL				-	16.82	8.67	13.21
MEX					-	12.79	9.61
PER						-	10.24
VEN							-

FUENTE: Cálculos basados en CEPAL (6) -En dólares por tonelada-

TABLA IV. Parámetros estimados del modelo y demanda de 1970

F _r (miles de dl.)	Costos medios variables y de transporte de acero terminado en:						
	ARG	BRS	COL	CHL	MEX	PER	VEN
ARG 20 907.49	59.41	63.78	80.04	70.26	80.35	75.33	72.39
BRS 19 430.-	59.58	55.21	72.67	69.23	72.98	74.06	65.02
COL 13 009.50	59.88	56.71	39.25	53.13	52.82	49.28	48.10
CHL 14 903.55	53.20	56.37	56.23	42.35	59.17	51.02	55.56
MEX 16 832.17	68.77	65.60	61.40	64.65	47.83	60.62	56.99
PER 14 429.10	56.90	59.83	51.01	49.65	53.77	40.98	51.22
VEN 18 321.41	65.04	61.87	60.91	65.27	61.22	62.30	52.06
DEMANDA (miles de Tm)	2 550	4 360	610	295	3 200	270	2 650

Nuestro problema de programación consiste entonces, en minimizar la siguiente función objetivo:

$$(4) \quad \sum_{r,r'} F_r \bar{c}_r + \sum_{r,r'} K_{r,r'} (v_r + T_{rr'}) S_{rr'}$$

sujeta a las restricciones que siguen:

$$(5) \quad \sum_{r'} S_{r'r} \geq D_r, \text{ para } r = 1, \dots, 7.$$

$$(6) \quad G \vartheta_r - \sum_{r'} S_{rr'} \geq 0, \text{ para } r = 1, \dots, 7.$$

$$(7) \quad \vartheta_r \text{ y } S_{rr'} \geq 0; \vartheta_r \text{ entero,}$$

donde ϑ_r es una variable entera de decisión que indica la presencia o ausencia de una planta en el país r .

D_r representa la demanda del país r .

$S_{rr'}$ indica los envíos de acero terminado desde el país r al mercado del país r' .

$T_{rr'}$ indica el costo de transportar acero desde el país r al r' .

La función objetivo representa el costo total de producción y transporte.

(5) nos dice que los envíos desde todos los sitios al mercado del país r , deben ser suficientes para satisfacer la demanda de r .

(6) representa un conjunto de restricciones auxiliares que aseguran que no se originen envíos desde plantas que no están instaladas. Para tal fin, G es una constante suficientemente grande.

Finalmente, las restricciones (7) impiden envíos o número de plantas negativos o instalación de fracciones de plantas, respectivamente.

Este sistema, que podría resolverse usando programación entera, (4), y así llegar al óptimo global, se transformó en una serie de problemas sencillos de programación lineal, del tipo del transshipment problem.

Como el estudio de Victorisz y Manno señala, (20), la ventaja de trabajar con todos los puntos solución consiste en permitir la apreciación de soluciones pobres que la óptima, pero a menudo sólo ligeramente menos satisfactorias.

Una vez que se tiene el arreglo de plantas correspondientes a cada extremo (arreglos de ceros y unos), la tarea consiste en la comparación de rutas alternativas. La solución es lograda minimizando la suma de costos de transporte y costos variables de producción, que sumados a los fijos, dan la solución en sólo una iteración.

VI. ANALISIS DE LAS SOLUCIONES Y OBSERVACIONES

El número total de óptimos locales a explorar es $2^7 = 128$, número que incluye la solución de autarquía individual, esto es, el punto 0 de la gráfica de la sección I.

Si se comparan los puntos números 1 y 121 del apéndice, se observa que existen ganancias potenciales de economías de escala a obtener con la integración de la industria del acero. El punto número 1 representa el óptimo optimorum y el número 121 la solución de autarquía.

De modo que se puede afirmar definitivamente que el punto B está situado debajo del C y que la longitud del segmento BC es aproximadamente de noventa y tres millones de dólares. En otras palabras (véase el apéndice), la autarquía individual representa un aumento en el costo total del 12 % con respecto a la posición óptima.

En el punto número uno se observa que sólo dos plantas abastecen a todos los países; una situada en Chile y la otra en Colombia. En cuanto a la dirección del comercio intrazonal, vemos bajo "País ex-

portador" en el mismo punto uno, que la Argentina y el Brasil importan desde Chile, en tanto que México, el Perú y Venezuela lo hacen desde Colombia.

El siguiente punto número dos, muy cercano al óptimo, permite añadir una planta en México a la lista de productores eficientes, planta que sólo podrá satisfacer la demanda de su país.

La diferencia entre las situaciones aparentemente similares representadas por los puntos números 107 y 121, es que en el segundo se impuso una restricción adicional, esto es, que cada país satisfaga su propia demanda. En la solución 107, en cambio, cada país compra de la fuente más económica, de modo que el costo total resulta menor. Este caso ilustra el principio de Le Chatelier, (22), esto es, que el cambio en el costo total es tanto menor cuantas más restricciones afectan el proceso de minimización.

En estas soluciones observamos la interacción de tres factores principales:

1) Costos de transporte, que limitan el tamaño de los mercados. Consumidores de acero son otros productores a lo largo de la etapa industrial, productores que responden activamente a un precio más alto de envío. La plena influencia del factor distancia está algo subestimada en este trabajo, debido a que los mercados fueron tratados como simples puntos. Así, no todas las limitaciones que imponen la falta de facilidades de transporte se tomaron en cuenta. Esto es verdad especialmente en los casos del Brasil y México con mercados locales relativamente más descentralizados.

2) El tamaño del mercado. Es el tamaño de las demandas locales, como las de la Argentina, el Brasil y México que, permitiendo la ob-

tención de importantes economías de escala dentro de sus fronteras, producen no más del 12 % de pérdidas debidas a la autarquía.

3) Costo total unitario de acero producido. A pesar de ser Colombia el productor más barato, la solución con una planta colombiana exportadora a toda la zona ocupa el tercer lugar y algo alejada del óptimo global. Esto se debe a la interacción mencionada, en especial, a la acción del factor que desanima la total concentración de la producción en una sola planta de costo mínimo: costos de transporte.

Asimismo, el tamaño del mercado brasileño no compensa su costo unitario elevado, de modo de tornarlo suficientemente competitivo. A lo sumo, el Brasil satisface su propia demanda, excepto cuando la fuente más barata no está en la solución particular, en cuyo caso es eficiente que exporte a la Argentina cuando ésta no tiene una planta instalada. (Esto puede verse en puntos como el diez y siete del apéndice).

En todas las situaciones en que Chile tienen una planta instalada, la Argentina no usa la suya o importa desde Chile. (Puntos diez y ocho y diez y nueve, entre otros). De modo que es interesante saber cuál es el punto de cambio a partir del cual la Argentina usa su propia planta. Esto es importante porque al elegir la aproximación al nivel de un millón de toneladas de acero, estamos por un lado, subestimando las economías de escala a ganar más allá de ese punto, y por el otro, estamos dando ventajas a los países más pequeños.

El punto de cambio será aquel donde el costo marginal de la Argentina iguale el costo marginal de Chile más el costo de transporte de un sitio al otro. Entonces tendríamos:

$$\alpha K_A P^{\alpha-1} = T_{CH-A} + \alpha K_{CH} P^{\alpha-1}$$

do donde se concluye, usando los datos de las Tablas III y IV, que la Argentina necesitaría un mercado de 5 352 miles de toneladas de acero terminado, a fin de usar su planta "eficientemente".

VIII. OBSERVACIONES FINALES

Como se dijo en la sección II, hemos trabajado con el supuesto de igual distribución porcentual de la demanda de productos de acero terminados en todos los países, distribución que correspondió a la composición de demanda de 1950. De tal modo, de antemano, se pierden muchas de las posibles economías de escala de una mayor especialización.

Es precisamente en la etapa de laminación, donde la concentración en una menor variedad de productos permitiría obtener importantes economías gracias al uso de métodos más automáticos, de otro modo no justificados. En tal respecto, cambiarían las perspectivas de productores relativamente menos eficientes y al mismo tiempo los mayores productores actuales. La causa es que niveles de mayor desarrollo económico producen el desplazamiento de la demanda hacia productos de acero planos, esto es, aquellos donde se reconoce la existencia de importantes beneficios de especialización. (3), (9), (8), (10).

Entonces se podría vislumbrar una situación donde países con pequeña capacidad instalada, pero con bajos costos, evitarían la última etapa de laminación. De tal modo, podría obtenerse una distribución racional de la producción, evitando la "solución" improbable de frenar el proceso de industrialización comenzado con protección arancelaria. No obstante, esta última afirmación es altamente especulativa. La base empírica actual no nos permite probarlo.

Dirección del comercio intrazonal

APENDICE. Puntos extremos seleccionados obtenidos como solución al problema de programación de la sección V

Puntos	Plantas							Costo total (miles de dls.)
	ARG	BRS	COL	CHL	MEX	PER	VEN	
1	0	0	1	1	0	0	0	756 376.57
2	0	0	1	1	1	0	0	757 240.73
3	0	0	1	0	0	0	0	763 169.52
4	0	0	1	0	1	0	0	764 063.69
.....								
17	0	1	1	0	1	0	0	776 158.69
18	1	0	1	1	0	0	0	777 284.05
19	1	0	1	1	1	0	0	778 148.23
.....								
107	1	1	1	1	1	1	1	823 030.13
.....								
121	1	1	1	1	1	1	1	849 359.65
.....								

Puntos	País exportador a						
	ARG	BRS	COL	CHL	MEX	PER	VEN
1	CHL	CHL	COL	CHL	COL	COL	COL
2	CHL	CHL	COL	CHL	MEX	COL	COL
3	COL	COL	COL	COL	COL	COL	COL
4	COL	COL	COL	COL	MEX	COL	COL
17	BRS	BRS	COL	COL	MEX	COL	COL
18	CHL	CHL	COL	CHL	COL	COL	COL
19	CHL	CHL	COL	CHL	MEX	COL	COL
107	CHL	BRS	COL	CHL	MEX	PER	COL
121	ARG	BRS	COL	CHL	MEX	PER	VEN

(Autarquía)

REFERENCIAS

- (1) Allen, R. G. D., Análisis matemático para economistas, 1952. Cap.10.
- (2) Aguirre Tupper, F., Consideraciones sobre la integración siderúrgica latinoamericana, 1962.
- (3) Balassa, Bela, The theory of economic integration. Irwin, 1961. Cap. 6.
- (4) Baumol, W., Economic theory & operational analysis. Prentice Hall, 1961. Caps. 6, 7.
- (5) Dantzig, G., Linear programming & extensions. Princeton Univ. Press, 1963. Caps. 16, 24.
- (6) CEPAL, Study of the iron & steel industry of L. A., 1954.
- (7) CEPAL, E. B. for L. A., Progress toward L. A. Common Market. Marzo de 1959.
- (8) CEPAL, Problems of the steel making & transforming industry in Latin America, 1958.
- (9) CEPAL, E. B. for L. A., Rolled iron & steel products in L. A., Oct. 1959.
- (10) CEPAL, Industria de transformación del hierro y acero en países seleccionados, 1955.
- (11) CEPAL, Las perspectivas de la producción y demanda de productos laminados en L. A. 1959.
- (12) Fabián, T., A linear programming model of steel production. Management Science, julio 1961.
- (13) García Acuña, E., La comunidad europea del carbón y acero y consideraciones sobre el caso latinoamericano. IIAFA.
- (14) Manne, A., Economic analysis for business decisions. Cap. 4.
- (15) Meade, J., The theory of custom unions. 1955.
- (16) Prebisch, R., Reflexiones sobre la integración económica L. A. Comercio Exterior, noviembre 1961.
- (17) Prieto, C., La industria siderúrgica en L. A. IIAFA, Oct. 1961.

- (18) TECHINT, Siderurgia Argentina. Bol. Inf. 110.
- (19) NACIONES UNIDAS, An inquiry into the iron & steel industry of Mexico.
- (20) Victorisz, T. y Manne, A., Chemical Process, Plant location & economies of scale. Monografía de la Cowles Foundation, Yale Univors.
- (21) Viner, J., The custom union issue. 1950.
- (22) Samuelson, P., Foundation of economic analysis. Cambridge 1961. Cap. 3.

