

Naciones Unidas
Comisión Económica
para América Latina

Banco Interamericano
de Desarrollo

Programa BID/CEPAL
sobre Investigación en
Temas de Ciencia y Tecnología
Monografía de Trabajo N° 8

CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA DE
GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DE COLOMBIA

Manuel Ramírez Gómez

761206

Distr.
RESTRINGIDA
BID/CEPAL/BA/16
30 diciembre 1976
ORIGINAL: ESPAÑOL

Oficina de la CEPAL en Buenos Aires
Cerrito 264 - 5° piso
1010 Buenos Aires - Argentina

PROLOGO

El Programa BID/CEPAL de Investigaciones en Temas de Ciencia y Tecnología ha encarado a través de varios estudios el análisis del fenómeno tecnológico en el contexto colombiano.

Por un lado se está intentando obtener una visión panorámica del nivel tecnológico alcanzado por las diversas ramas del sector manufacturero, prestándose especial atención a las diferencias interindustriales en lo que hace a adquisición de tecnología extranjera y a la realización de esfuerzos tecnológicos locales. Con este propósito se está llevando a cabo un trabajo de campo que cubre a los mayores establecimientos industriales del país, tanto del sector privado como de propiedad del Instituto de Fomento Industrial (IFI). Para la realización de esta investigación se ha contado con el apoyo y patrocinio de varias entidades públicas y privadas colombianas, entre ellas el citado Instituto de Fomento Industrial, la Federación Colombiana de Industrias Metalmeccánicas (FEDEMETAL) y la Asociación Nacional de Industriales (ANDI). Los resultados de este estudio se irán dando a conocer a lo largo de 1977 bajo la forma de Monografías de Trabajo del Programa BID/CEPAL.

Por otro lado, y con la intención de llevar el análisis al plano sectorial y microeconómico, se prevee realizar estudios de detalle en la rama siderúrgica, en la industria de la construcción y en el sector de generación de energía eléctrica.

A este último tema está referida la presente monografía. La misma está basada en la Tesis doctoral preparada por el doctor Manuel Ramírez Gómez -Coordinador del Programa BID/CEPAL en Colombia- para la Universidad de Yale. La misma permite comprender tanto la primordial importancia de la adquisición de tecnología extranjera, como el papel -también protagónico, aunque menor- del conocimiento tecnológico localmente generado. Futuras entregas permitirán profundizar los resultados aquí presentados.

I

En un país en desarrollo como Colombia, hay una producción muy pequeña de bienes de capital, producción que además está concentrada en un número reducido de tipos de maquinaria; como efecto de ésto, la mayor parte de la maquinaria tiene que ser importada, restringiendo las posibilidades de desarrollo del país a la capacidad de importación de bienes de capital.

Este problema tiene tres aspectos interrelacionados:

El primero es la restricción en la tasa de crecimiento del acervo de capital, como se analiza en la literatura de "Modelos de dos brechas" ^{1/}.

El segundo consiste en que si la tecnología está incorporada en la maquinaria ^{2/}, el uso de tecnología más nueva está también restringido por la restricción de divisas extranjeras.

El tercero consiste en que si el cambio tecnológico está inducido por los precios relativos de los factores ^{3/}, la maquinaria importada incorpora cambios sesgados en la dirección de ahorro de factores escasos en el país donde se produce la maquinaria, y no factores escasos en el país que la va a utilizar.

El propósito de este estudio es investigar el problema de las fuentes y efectos del cambio tecnológico, con especial atención en la identificación de fuentes domésticas de cambio que puedan suplementar el aumento en eficiencia técnica encontrado en la nueva maquinaria importada y tal vez compensar los sesgos que incorpora.

Escogimos una industria particular en Colombia (la de Generación de Energía

^{1/} Ver, por ejemplo, McKinnon (28).

^{2/} Algunos modelos basados en esta premisa se presentan en Solow (35), Phelps (29), etc.

^{3/} Para un tratamiento de este problema consultar Fellner (14), Kennedy (23), Samuelson (32).

Eléctrica) para enfocar la investigación en los puntos sugeridos atrás. Escogimos esta industria por poseer varias características favorables: el producto es homogéneo; la tecnología es bastante simple; la estructura de insumos puede reducirse a tres factores básicos: trabajo, combustible y maquinaria sin forzar demasiado los hechos; la industria ha sido analizada, poniendo énfasis en el problema del cambio tecnológico en otros países, abriendo la posibilidad de comparación de los resultados; y, finalmente, hay disponibilidad de datos en una forma útil sin un proceso dispendioso de recolección.

La electricidad puede ser generada en plantas hidroeléctricas o termoeléctricas, con una tecnología completamente distinta en los dos casos. En este estudio consideramos únicamente plantas termoeléctricas, a pesar de que en Colombia un gran porcentaje de la electricidad se genera en plantas hidroeléctricas. Esto lo hicimos porque en las plantas hidroeléctricas intervienen en forma complicada varios factores -como la topografía de la región- que son muy difíciles de incorporar en este tipo de análisis.

Obtuvimos datos para quince plantas que usan fuel oil como combustible y para cinco que usan gas natural. Tenemos también datos para dos plantas que usan carbón, pero fueron suprimidos del análisis, al no estar los datos de ellas en una forma comparable con las demás.

Los datos son mensuales y cubren períodos de uno a cuatro años según la planta (entre 1966 y 1969). Se obtuvieron de datos que las plantas pasan mensualmente al Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) ^{4/}.

El primer paso en el análisis es la obtención de una representación de la tecnología y sobre esta base obtener estimativos de la eficiencia técnica de las distintas observaciones.

En la literatura se encuentran dos enfoques para este propósito: la estimación de una función de producción "promedio", o de una función de producción "extrema". El último es el que corresponde al concepto teórico de función de

^{4/} Los datos se encuentran presentados en una forma completa en Ramírez (30), Apéndice.

producción: aquella función que da la cantidad máxima de producto que puede obtenerse con una cantidad dada de insumos.

El origen de los estudios que usan funciones de producción "extremas" fue el desarrollo del análisis de actividades y de técnicas de programación matemática ^{5/}. Fué usado por primera vez por Farrell ^{6/} para un análisis de la agricultura americana; más adelante, Farrell y Fieldhouse ^{7/} generalizaron el método para poder considerar rendimientos crecientes a escala y utilizaron esta generalización para un análisis de la agricultura británica. Aigner and Chu ^{8/} elaboraron una versión logarítmica del método y estimaron una versión Cobb-Douglas extrema para algunos sectores industriales norteamericanos usando los datos de Hildebrand y Liu ^{9/} y como una comparación con ese estudio, Timmer ^{10/} usa un enfoque similar para el estudio de funciones de producción agrícola, utilizando estados como unidades de observación y luego analizando estadísticamente las diferencias interestatales en eficiencia.

Estos son los únicos estudios que conocemos que utilizan este enfoque; la mayoría han estado dirigidos hacia el sector agrícola y los datos usados son en muchos casos de un alto nivel de agregación, con insumos y productos en unidades monetarias, lo cual introduce muchos de los problemas de estimación e interpretación que se encuentran en el uso de funciones de producción agregadas.

Otro método que se ha usado en algunas ocasiones consiste en analizar los cambios en la estructura de costos de la empresa y luego tratar de relacionar estos cambios con cambios en la tecnología. El mejor estudio en esta línea es el de Hollander ^{11/} sobre varias plantas de rayon de la DuPont. Pero en general es muy difícil distinguir cambios en tecnología de otras causas que afectan los cos-

^{5/} Ver Koopmans (26)

^{6/} Farrell (12).

^{7/} Farrell and Fieldhouse (13)

^{8/} Aigner and Chu (1).

^{9/} Hildebrand and Liu (18).

^{10/} Timmer (37).

^{11/} Hollander (20).

tos de producción.

La industria de generación de energía eléctrica ha sido estudiada desde el punto de vista del cambio tecnológico en varias ocasiones.

Komiya estimó funciones de producción Cobb-Douglas y limitacionales ^{12/} para una muestra de 235 plantas nuevas construídas entre 1930 y 1956. Su objetivo fue estimar la función de producción ex-ante, sin considerar cambios posteriores a la construcción de la maquinaria. Encontró una tendencia hacia la disminución en el uso del combustible y aumento en el uso del capital, fuertes economías de escala y una reducción muy importante en los requerimientos de trabajo ^{13/}.

Dhrymes y Kurz usaron datos para 362 plantas nuevas en el período 1937-1959. Su estudio tuvo el mismo propósito del de Komiya. Trabajaron con una función de producción de elasticidad de sustitución constante generalizada, suponiendo para propósitos de identificación y estimación un comportamiento de minimización de costos por parte de los productores ^{14/}.

En ambos estudios la función de producción sustitucional de tipo Cobb-Douglas o de elasticidad de sustitución constante, no dió resultados completamente satisfactorios como una descripción de la tecnología.

Barzel ^{15/} estimó ecuaciones de demanda por los factores usando como variables independientes tamaño, utilización de la planta, precios, edad de la planta y variables "dummy" para distinguir los diversos períodos tecnológicos; utilizó una muestra de 801 observaciones en 220 plantas.

Galatin intenta separar y cuantificar los efectos de economías de escala y cambio tecnológico; su unidad de observación es la máquina. Estima funciones de requerimientos de combustible, capital y trabajo ^{16/}.

^{12/} Estas funciones dan la cantidad mínima de insumos necesarios para la producción de una cierta cantidad de producto.

^{13/} Komiya (25).

^{14/} Dhrymes and Kurz (10)

^{15/} Barzel (6).

^{16/} Galatin (15).

Tanto Galatin como Dhrymes y Kurz usan capacidad como la medida de capital; Komiya y Barzel utilizan valor de la planta como esta medida.

Hughes encuentra que el cambio tecnológico en la industria ha estado orientado hacia la posibilidad de construcción de plantas más grandes y hacia la sustitución de capital por combustible por medio de una mayor eficiencia térmica ^{17/}.

17/ Hughes (21).

II

Consideraremos que cada observación -que corresponde a un mes de operación en una planta- es un estimativo de un proceso técnico para la producción de electricidad.

El producto de estos procesos es energía eléctrica, medida en kilovatios-hora generados durante el mes. Los insumos son trabajo, medido en horas-hombre; combustible, medido en BTU (Unidades Térmicas Británicas) ^{18/}; y capital, medido en kilovatios de capacidad productiva de la planta ^{19/}.

Esta última medida ha sido corregida por varios factores para tener una indicación de los servicios productivos de las máquinas: por la utilización promedio, medida por el número de turnos durante los cuales se utiliza la máquina, por el número de días del mes y por un factor técnico relacionado con la altura y la temperatura promedio del sitio de instalación de la planta ^{20/}. Este último factor afecta hasta en un 28% la capacidad productiva de las plantas en nuestro

^{18/} Tenemos datos sobre el número de pies cúbicos o de galones quemados en la planta en cada mes, y también estimativos del contenido calorífico promedio del combustible: para el fuel oil 145 000 BTU/gal. y para el gas 1 100 BTU/ft³. Estos contenidos están dentro de los límites dados para el contenido calorífico de los combustibles por Baumeister and Mark (7).

^{19/} Las definiciones y la medición de los dos primeros insumos y del producto son inmediatas, sin ningún problema teórico y muy pocos empíricos. No sucede lo mismo con el tercer insumo, capital. Hay dos candidatos principales para la definición de capital, que han sido usados en esta clase de estudios: el valor en libros del equipo, y la capacidad productiva de la planta. Ninguno de ellos es completamente satisfactorio y hemos decidido usar el que parece tener menos complicaciones tanto desde el punto de vista teórico como desde el de medición; en este caso es la capacidad productiva de la planta.

^{20/} Una máquina dada, con cantidades dadas de trabajo y combustible, produce diferentes cantidades de electricidad de acuerdo con las condiciones de presión y temperatura de la instalación, de acuerdo con la fórmula:

$$Hp_1 = Hp_0 (P_1 / P_0) \sqrt{T_0/T_1} = Hp_0 F$$

en que el subíndice 1 se refiere a las condiciones reales, el subíndice 0 a condiciones standard (una temperatura de 15° C y una presión de 29,91" de mercurio). Hp es el trabajo del motor en "horse power", P la presión atmosférica, T la temperatura en grados Kelvin y F la relación entre Hp₁ y Hp₀.

estudio 21/.

Dividiendo los insumos por la cantidad de energía producida tenemos los requerimientos de insumo por unidad o coeficientes insumo-producto 22/.

Si suponemos rendimientos constantes a escala, dados estos coeficientes podemos obtener una descripción de la función de producción y una medida de la eficiencia de un modo muy sencillo.

Usando como ilustración el caso en que sólo hay dos insumos, las observaciones pueden representarse en un gráfico de la manera siguiente:

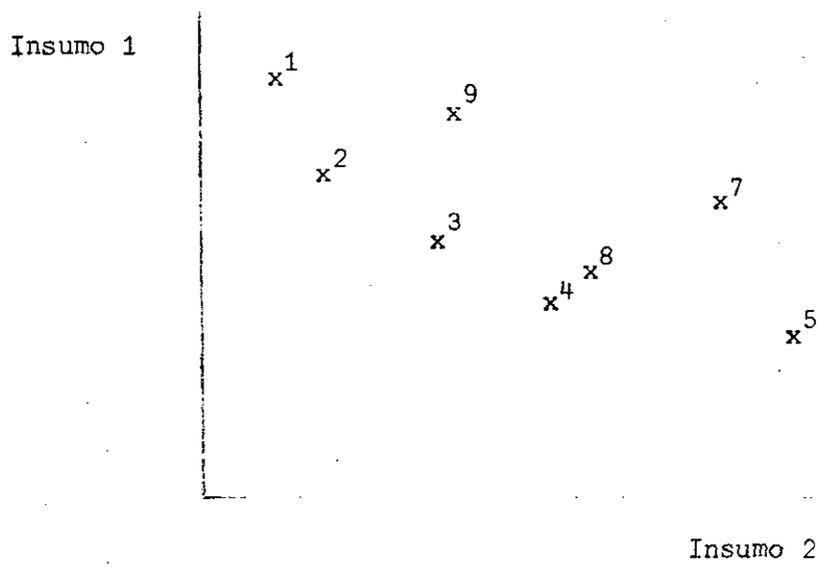


Figura 1

En la figura cada punto representa las cantidades de insumo requeridas para producir una unidad de producto usando un determinado proceso.

21/ Para una discusión de este efecto consultar Baumeister and Mark (7) o Lichty (27).

22/ Estos datos se encuentran en Ramírez (30), Apéndice.

Bajo las suposiciones usuales del análisis de actividades, una representación de la función de producción puede obtenerse como sigue:

Un proceso es eficiente si no hay ningún otro proceso que produzca las mismas cantidades de producto utilizando cantidades iguales o menores de todos los insumos y menores de por lo menos uno de ellos. En la figura 1 los procesos 1, 2, 3, 4 y 5 son eficientes y los procesos 7, 8 y 9 no lo son.

Un proceso es básico si no puede ser expresado como una combinación convexa de otros procesos eficientes. En la figura 1 los procesos 1, 2, 4 y 5 son básicos; el proceso 3 no lo es, puesto que puede expresarse como una combinación convexa de los procesos eficientes 2 y 4.

Un conocimiento de los procesos básicos equivale a un conocimiento de la función de producción, puesto que cualquier otro proceso puede expresarse como una combinación lineal con coeficientes positivos de los procesos básicos y de los procesos de "desperdicio" 23/ 24/.

Los procesos básicos pueden obtenerse de todas las actividades observadas como sigue 25/:

Sea x_i el nivel de operación del proceso i (para los presentes propósitos, podemos tomarlo como la cantidad producida utilizando el proceso i). Sea $a_k = (a_{kj})$ el vector de insumos unitarios correspondiente al proceso k ; a_{kj} es la cantidad del insumo j necesario para obtener una unidad del producto utilizando el proceso k . Sea $A = a_{kj}$ la matriz de todas las actividades. A constituye una descripción completa de la tecnología. Dado a_k , se puede calcular fácilmente la producción máxima que podría obtenerse usando las cantidades de insumos especificadas en a_k . Si operamos el proceso i a un nivel x_i se obtienen x_i unidades del producto y usamos $a_i x_i$ unidades de los distintos insumos, de manera que la cantidad máxima de producto que puede obtenerse de in-

23/ Procesos que usan insumos pero no producen nada.

24/ Para una discusión completa de estos conceptos ver Koopmans (26).

25/ Ver Farrell (12).

sumos en cantidades a_k está dada por el valor máximo de

$$\sum_{i=1}^n x_i \quad 1)$$

sujeto esto a la restricción de que la cantidad de insumo usada sea menor o igual a la disponible:

$$Ax_i \leq a_k \quad 2)$$

y de que ningún proceso pueda operarse a un nivel negativo:

$$x_i \geq 0 \quad 3)$$

Este es por supuesto un problema de programación lineal. El problema siempre tiene solución puesto que a_k es una columna de A . Por la misma razón el valor del problema es siempre igual o mayor que uno.

Si el máximo posible para el proceso k es 1, que es la cantidad realmente producida, este proceso es eficiente. Si los niveles de actividad correspondientes son tales que $x_j = 0$ para todo $j \neq k$ y $x_k = 1$, el proceso k es básico.

Por medio de este proceso, resolviendo el problema 1-3 para cada proceso, pueden obtenerse todos los procesos básicos y por lo tanto una representación de la función de producción.

Una vez efectuado este cálculo, se sabe cuál es la producción máxima que pudiera haberse obtenido con cada proceso. Dividiendo la cantidad realmente obtenida por esta cantidad máxima, se tiene un estimativo de la eficacia técnica de la observación ^{26/}.

^{26/} En este estudio analizaremos únicamente la eficiencia técnica, es decir la relación entre la cantidad de producto obtenida y la cantidad máxima que se hubiese podido obtener con las mismas cantidades de insumos; y no eficiencia de precios, es decir, la relación entre la cantidad de dinero gastada realmente

Cuando los rendimientos a escala no son constantes, una modificación sencilla de este procedimiento nos permite obtener los resultados deseados 27/.

Este tipo de procedimientos han sido criticados porque pueden ser muy sensitivos a observaciones extremas que representan errores de observación más bien que procesos tecnológicamente factibles. Para tener en cuenta esta objeción hicimos un análisis de sensibilidad de la siguiente manera: después de obtener el estimativo de las eficiencias, removimos de los datos las observaciones con eficiencia unitaria. Repitiendo el proceso obtuvimos otro conjunto de estimativos de eficiencias técnicas. Análisis posterior nos mostró la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas en los resultados obtenidos al usar los dos estimativos de las eficiencias. En lo que sigue se informan y se utilizan únicamente los resultados obtenidos al usar todas las observaciones 28/.

Los resultados obtenidos son demasiado voluminosos para presentarlos aquí en una forma completa 29/. Un análisis de ellos se efectuará en las secciones siguientes y un resumen se encuentra en Tabla 1 30/.

Método 1 supone rendimientos constantes a escala. Método 2 no los supone.

Los valores son valores promedio en cada planta, lo cual explica el que no haya ninguna planta con eficiencia unitaria.

en la producción y la cantidad mínima que hubiese sido posible gastar para la producción de una misma cantidad de producto, dados los procesos eficientes técnicamente y los precios de los factores. Esto es así puesto que estamos interesados principalmente en cambio tecnológico (como los procesos técnicamente eficientes cambian con cambios en alguna otra variable).

27/ Ver Farrell and Fieldhouse (13) o Ramírez (30) para los detalles de este procedimiento.

28/ Para los otros resultados ver Ramírez (30).

29/ Ver Ramírez (30), Apéndice.

30/ Como estos son valores promedio durante un cierto período de tiempo, no se encuentran valores de eficiencia unitarios, lo cual refleja el hecho de que la planta no estuvo funcionando con toda su eficiencia durante todo el período.

TABLA 1

Valores promedio de los estimativos de Eficiencia Técnica.

| Planta | Método 1 | Método 2 |
|--------|----------|----------|
| 1 | 0,347 | 0,398 |
| 2 | 0,367 | 0,448 |
| 3 | 0,674 | 0,785 |
| 4 | 0,241 | 0,282 |
| 5 | 0,321 | 0,368 |
| 6 | 0,295 | 0,339 |
| 7 | 0,122 | 0,143 |
| 8 | 0,205 | 0,243 |
| 9 | 0,148 | 0,171 |
| 10 | 0,264 | 0,322 |
| 11 | 0,277 | 0,336 |
| 12 | 0,289 | 0,356 |
| 13 | 0,249 | 0,295 |
| 14 | 0,502 | 0,602 |
| 15 | 0,457 | 0,572 |
| 16 | 0,186 | 0,218 |
| 17 | 0,414 | 0,510 |
| 18 | 0,347 | 0,398 |
| 19 | 0,490 | 0,558 |
| 20 | 0,499 | 0,572 |

III

La primera observación con respecto a los estimativos de eficiencia técnica obtenidos en la sección anterior, es que son en general bastante bajos. Las plantas están produciendo mucho menos de lo que podrían producir con los mismos insumos y los procesos observados en la muestra 31/.

Una causa posible de las variaciones en eficiencia son las variaciones en la utilización de capacidad. En general esta utilización es baja, debido tal vez a factores de demanda. Es bien conocido que la demanda por electricidad no es constante durante el día sino que tiene horas pico más o menos bien definidas, durante las cuales está utilizando un porcentaje mayor de su capacidad que durante el resto del día. Naturalmente hay otras causas posibles de subutilización de capacidad 32/. Hubiese sido muy interesante incorporar algunas de estas variables en nuestro análisis, pero no se pudo conseguir información con el detalle necesario.

Usaremos la relación entre la producción real y la producción máxima posible como la definición de la variable Utilización (U). Datos promedios para la variable se encuentran en la Tabla 2 33/.

Otra causa de las diferencias en eficiencia puede ser la existencia de rendimientos crecientes a escala (esto operará cuando utilicemos el primer método para la estimación de las eficiencias técnicas). Este ha sido un factor muy importante en otros estudios. Como una medida de la escala de la planta utilizaremos la producción máxima posible (M). Datos sobre esta variable se encuentran en la Tabla 2.

31/ Es posible que existan otros procesos, no observados en esta muestra, que permitan una producción mayor con los mismos insumos; las eficiencias técnicas que estimamos y analizamos son relativas a los procesos observados.

32/ Para algunas de ellas ver Calvo (7), Ramírez (30) y Thoumi (39).

33/ Para los datos completos ver Ramírez (30), Apéndice.

TABLA 2

Valores promedio de algunas variables independientes

| Planta | Utilización | Producción Máxi- ma posible | Año de Instalación | Origen |
|--------|-------------|--------------------------------|-----------------------|------------|
| | U | PMP | A | OR |
| 1 | 50,9 | 202 513 | 1961 | Alemania |
| 2 | 51,9 | 747 075 | 1960 | EE.UU. |
| 3 | 99,7 | 428 000 | 1947 | Inglaterra |
| 4 | 16,9 | 2 745 383 | 1954 | Inglaterra |
| 5 | 37,4 | 798 668 | 1961 | Inglaterra |
| 6 | 28,4 | 812 119 | 1959 | Alemania |
| 7 | 9,1 | 22 107 | 1961 | Inglaterra |
| 8 | 28,5 | 26 266 | 1961 | Inglaterra |
| 9 | 17,6 | 95 630 | 1964 | Alemania |
| 10 | 39,6 | 54 396 | 1956 | EE.UU. |
| 11 | 34,2 | 48 988 | 1961 | Alemania |
| 12 | 39,1 | 199 384 | 1958 | Alemania |
| 13 | 44,3 | 53 944 | 1966 | EE.UU. |
| 14 | 66,1 | 499 996 | 1963 | Inglaterra |
| 15 | 59,6 | 981 806 | 1962 | Inglaterra |
| 16 | 21,3 | 45 083 | 1959 | EE.UU. |
| 17 | 63,0 | 113 830 | 1961 | Inglaterra |
| 18 | 6,3 | 317 262 | 1948 | EE.UU. |
| 19 | 82,3 | 6 654 480 | 1962 | EE.UU. |
| 20 | 78,8 | 8 186 067 | 1964 | EE.UU. |

Tanto la literatura técnica ^{34/} como estudios económicos anteriores ^{35/} muestran que las plantas nuevas son más eficientes que las antiguas debido a mejoras técnicas. Esperamos que esto suceda en nuestro estudio; por tanto usaremos una variable para representar este efecto. El cambio tecnológico es producido por investigación en la industria manufacturera del equipo en el extranjero; como no estamos interesados en esta industria, supondremos, como una aproximación, que el cambio se produce por el mero paso del tiempo; usaremos la fecha de instalación de la planta como indicación de la "vendimia" del equipo y usaremos como una aproximación un incremento exponencial de eficiencia. Datos sobre esta variable (A) se encuentran en Tabla 2.

Es posible que la eficiencia técnica del equipo difiera según el país donde éste fue construido. Una variable "dummy" cuyo valor es 1 si la máquina se fabricó en Estados Unidos y 0 si se fabricó en Europa, fue usada para tratar de identificar este efecto. Una variable adicional cuyo valor es 1 si la maquinaria es inglesa y 0 si no lo es, fue usada pero no dio resultados significativos. Datos sobre esta variable (OR) se dan en la Tabla 2.

Hay evidencia ^{36/} de que, una vez la planta entra en operación, su eficiencia cambia debido a fenómenos de aprendizaje por parte de los operarios. Nos parece adecuado usar producción acumulada como un indicador del proceso de aprendizaje; como las plantas son de tamaños muy diferentes, usamos como variable independiente producción acumulada dividida por producción máxima posible (PA/PMP) ^{37/}.

Usaremos dos tipos de funciones que son frecuentemente utilizadas en estudios de este tipo:

^{34/} Ver American Society of Mechanical Engineers (3), Diesel Electric Manufacturers (11) o Lichty (27).

^{35/} Ver Barzel (6), Dhrymes and Kurz (10), Hughes (21), Galatin (15), Komiya (25), y Sporn (36).

^{36/} Alchian (2), Hirsch (19), Rapping (31), Wright (40).

^{37/} Datos sobre esta variable se encuentran en Ramírez (3)), Apéndice.

una función logarítmica

$$\ln E = a + b \ln PA / PMP \quad 4)$$

y una función inversa

$$\ln E = a + b / (PA / PMP) \quad 5)$$

la elección final entre estas dos formas se hará según los resultados econométricos 38/.

Las curvas representadas por las ecuaciones 4) y 5) se encuentran en la figura 2. La principal diferencia entre las dos estriba en que la representada por la ecuación 4), "a" en la figura, no tiene un máximo a un valor asintótico, mientras que la representada por la ecuación 5), "b" en la figura, si lo tiene.

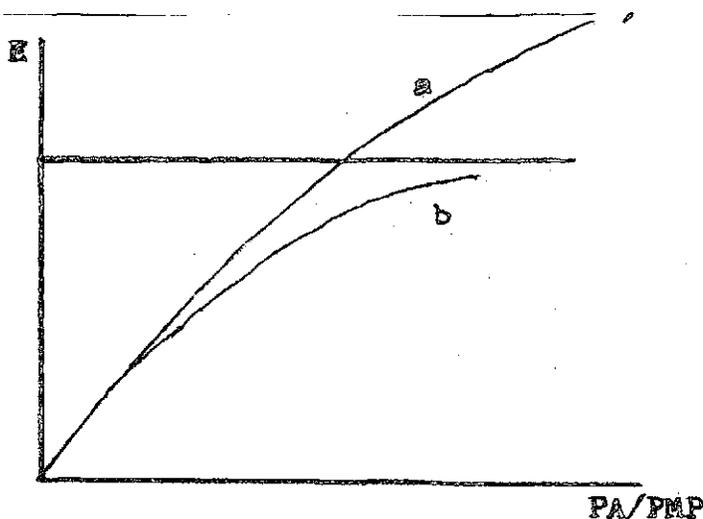


Figura 2

Además de lo anterior, puede existir una cierta actividad inventiva local, dirigida no hacia la creación de procesos enteramente nuevos, sino hacia una modificación de la maquinaria y los procesos importados para ajustarlos a las condiciones locales. La medida apropiada de esta actividad sería gastos en investigación y desarrollo u horas-hombre dedicadas a dicha actividad. Sin embargo no tenemos datos sobre esto en específico. Como una aproximación a esta variable utilizamos trabajo

38/ Una asociación positiva entre eficiencia y producción acumulada se refleja en un coeficiente positivo en la ecuación 6) y uno negativo en la ecuación 7).

acumulado en mantenimiento de la planta (MA) puesto que parece que la mayor parte de esta actividad tiene lugar durante el proceso de mantenimiento ^{39/}. Las formas funcionales utilizadas fueron las mismas que con la variable anterior ^{40/}.

Es de esperar que en meses durante los cuales se lleven a cabo reparaciones importantes en la planta, ésta no esté trabajando de un modo normal; para tener en cuenta esto, utilizaremos una variable "dummy" (R) cuyo valor será 1 en los meses durante los cuales se hayan efectuado reparaciones importantes y 0 en aquellos en que no.

Por las consideraciones anteriores estimamos las ecuaciones siguientes:

$$\ln E = a + b \text{ PMP} + c \ln \text{ MA} + d \ln \text{ PA/PMP} + e \text{ A} + f \text{ U} + g \text{ R} + h \text{ OR} + \theta \quad 6)$$

y
$$\ln E = a + b \text{ PMP} + c / \text{ MA} + d / (\text{ PA/PMP}) + e \text{ A} + f \text{ U} + g \text{ E} + h \text{ OR} + \lambda \quad 7)$$

en que θ y λ son residuos, E es la eficiencia técnica de la planta en el mes de la observación, PMP es la producción máxima posible en Kw-Hora/mes; MA es el trabajo acumulado de mantenimiento; PA/PMP es la producción acumulada dividida por la producción máxima posible; A es el año de instalación; U el coeficiente de utilización en %; R una variable para distinguir meses en los cuales se realizaron reparaciones importantes y OR una variable usada para distinguir el origen de la maquinaria.

Estas ecuaciones se estimaron para los dos conjuntos de eficiencias técnicas. Los resultados para el conjunto estimado como si hubiese rendimientos a escala son:

^{39/} Una idea similar se encuentra en un estudio reciente de Jorge Katz (22) sobre la industria argentina. El encontró una relación significativa entre el cambio tecnológico en una industria y el valor acumulado de gastos en investigación y desarrollo, y entre cambio tecnológico y el valor acumulado de gastos en investigación y desarrollo y otros gastos técnicos (lo cual incluye mantenimiento, control de calidad, gerencia técnica). El tipo de investigación y desarrollo que él encuentra en Argentina lo describe como: "Una proporción significativa de la actividad inventiva" local está en este momento, dedicada a la "adaptación" y a "mejoras" marginales de procesos y/o productos cuya tecnología se obtuvo previamente por importación".

^{40/} Datos sobre esta variable se encuentran en Ramírez (30), Apéndice.

$$\ln E = 4,546 + 0,0000182 \text{ PMP} + 0,0266 \text{ A} + 0,0105 \text{ U} - 0,0575 \text{ R} -$$

(3,367) (8,235) (16,49) (1,806)

$$- 0,0320 \text{ OR} - 0,0386 / \text{MA} - 0,1323 / (\text{PA} / \text{PMP})$$

(1,035) (4,202) (2,011)

$$R^2 = 0,822$$

8)

$$\ln E = 3,449 + 0,00000967 \text{ PMP} + 0,0256 \text{ A} + 0,00905 \text{ U} - 0,0511 \text{ R} -$$

(1,643) (8,391) (12,23) (1,604)

$$- 0,00301 \text{ OR} + 0,0306 \ln \text{MA} + 0,136 \ln \text{PA} / \text{PMP}$$

(1,026) (3,923) (4,399)

$$R^2 = 0,807$$

9)

Los resultados para los estimativos de las eficiencias técnicas obtenidas por el segundo método, sin suponer rendimientos constantes, fueron:

$$\ln E = 4,821 + 0,00000231 \text{ PMP} + 0,0272 \text{ A} + 0,0102 \text{ U} - 0,0563 \text{ R} -$$

(1,223) (8,424) (15,12) (1,621)

$$- 0,0285 \text{ OR} - 0,0421 / \text{MA} - 0,1452 / (\text{PA} / \text{PMP})$$

(1,103) (4,021) (2,123)

$$R^2 = 0,792$$

10)

$$\ln E = 3,642 + 0,00000028 \text{ PMP} + 0,272 \text{ A} + 0,0102 \text{ U} - 0,0563 \text{ R} -$$

(1,012) (4,287) (11,47) (1,421)

$$- 0,00276 \text{ OR} + 0,0318 \ln \text{MA} + 0,148 \ln \text{PA} / \text{PMP}$$

(0,982) (3,852) (4,222)

$$R^2 = 0,780$$

11)

Como puede verse los resultados son muy similares en todos los casos. El efecto de rendimientos crecientes a escala es muy pequeño, lo cual es un resultado sorprendente; con respecto a las otras variables las diferencias no son significativas.

Debido a los resultados ligeramente mejores obtenidos para el primer conjunto de eficiencias técnicas, decidimos usar ese conjunto en lo que sigue, corrigiendo el efecto de los rendimientos a escala por medio de una variable independiente y no por el método de estimación de las eficiencias.

Entre las formas funcionales escogimos la inversa tanto por su comportamiento econométrico, ligeramente mejor, como por el hecho de que proporciona un límite a las posibilidades de aprendizaje. Los resultados finales no deben variar mucho con la elección de otra de las ecuaciones como base para lo que sigue.

Para identificar otros factores importantes, específicos de la planta o del mes, estimamos la ecuación de nuevo con la adición de variables "dummy" para meses y plantas. Estas no fueron estadísticamente significativas, individualmente o en bloques, mostrando que todas las influencias sistemáticas asociadas con meses o plantas están incorporadas en la ecuación original.

No hay ninguna indicación de multicolinealidad en las variables independientes de la ecuación. Lo cual puede observarse en la matriz de coeficientes parciales de correlación (Tabla 3) y en el hecho de que los cambios en los coeficientes de la ecuación producidos al retirar alguna de las variables, son muy pequeños.

TABLA 3

| | PMP | A | U | R | OR | 1/MA | 1/PA/PMP |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| PMP | 1,0000 | 0,1831 | 0,3495 | 0,1458 | 0,3746 | -0,1592 | -0,1915 |
| A | 0,1831 | 1,0000 | 0,0313 | 0,2282 | 0,0174 | 0,1827 | -0,4039 |
| U | 0,3495 | 0,0313 | 1,0000 | 0,1144 | 0,0828 | -0,2168 | -0,6250 |
| R | 0,1458 | 0,2282 | 0,1144 | 1,0000 | -0,0060 | -0,1996 | -0,2104 |
| OR | 0,3746 | 0,0174 | 0,0828 | -0,0060 | 1,0000 | -0,2255 | 0,1221 |
| 1/MA | -0,1592 | 0,1827 | -0,2168 | -0,1996 | -0,2255 | 1,0000 | 0,0241 |
| 1/PA/PMP | -0,1915 | -0,4039 | -0,6250 | -0,2104 | 0,1221 | 0,0241 | 1,0000 |

Observando los residuos de las plantas individuales, hay evidencias de autocorrelación, con una estructura diferente en cada planta. En vista de esto, adoptamos el siguiente método de estimación:

Supongamos que la matriz de varianza-covarianza de los residuos es de la forma:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \Sigma_{11} & 0 & 0 & \dots\dots\dots & 0 \\ 0 & \Sigma_{22} & 0 & \dots\dots\dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & & \Sigma_{20,20} \end{bmatrix} \quad (12)$$

en que

$$\Sigma_{ii} = \begin{bmatrix} 1 & \sigma_i & \sigma_i^2 & \dots\dots\dots & \sigma_i^{t_i-1} \\ \sigma_i & 1 & \sigma_i & \dots\dots\dots & \sigma_i^{t_i-2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sigma_i^{t_i-1} & \sigma_i^{t_i-2} & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

y t_i el número de meses observados en la planta 1 .

Si las σ_i fuesen conocidas, la ecuación podría estimarse por Mínimos Cuadrados Generalizados ^{41/}. Sin embargo, como no hay variables dependientes reza-

^{41/} Ver Theil (38) por ejemplo.

gadas ^{42/} los σ_i estimados con los residuos de los Mínimos Cuadrados Ordinarios son estimadores consistentes de los σ_i y los estimadores de los parámetros de la ecuación obtenidos usando Mínimos Cuadrados Generalizados con matriz de varianza-covarianza obtenida reemplazando en 12) los estimativos de σ_i , son también consistentes.

Como Σ es de la forma 12) su inversa está dada por:

$$\Sigma^{-1} = \begin{bmatrix} \Sigma_{11}^{-1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Sigma_{22}^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \Sigma_{20,20}^{-1} \end{bmatrix} \quad (14)$$

en donde, como se comprueba fácilmente:

$$\Sigma_{ii}^{-1} = \frac{1}{1-\sigma_i^2} \begin{bmatrix} 1 & -\sigma_i & 0 & \dots & 0 \\ -\sigma_i & 1+\sigma_i^2 & -\sigma_i & \dots & 0 \\ 0 & -\sigma_i & 1+\sigma_i^2 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Estimación por Mínimos Cuadrados Generalizados con esta matriz de varianza-covarianza equivale al uso de Mínimos Cuadrados Ordinarios con las variables

^{42/} Ver Balestra y Nerlove (5), Chetty (8) o Theil (38), para los problemas que se presentan en este caso y algunos métodos de estimación.

$$w = \Pi y \quad 16)$$

$$Z = \Pi X \quad 17)$$

en donde w es la nueva variable dependiente, Z la matriz de las nuevas variables independientes, y la antigua variable dependiente X la antigua matriz de variables independientes y Π la matriz de transformación:

$$\Pi = \begin{bmatrix} \pi_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \pi_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \pi_3 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \pi_{20} \end{bmatrix} \quad 18)$$

en donde

$$\pi_i = \frac{1}{\sqrt{1-\sigma_i^2}} \begin{bmatrix} 1-\sigma_i^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\sigma_i & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\sigma_i & 1 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad 19)$$

Los resultados de aplicar este procedimiento a la ecuación 8) ^{43/} fueron:

$$\ln E = 1,366 + 0,0000231 \text{ PMP} + 0,0270 \text{ A} + 0,0106 \text{ U} - 0,0080 \text{ R} +$$

(3,583) (21,985) (16,713) (2,868)

$$+ 0,0194 \text{ OR} - 0,439 / \text{MA} - 0,24004 / (\text{PA} / \text{PMP})$$

(3,438) (3,583) (3,319)

$$R^2 = 0,871$$

20)

Aceptamos ecuación 20) como nuestro mejor estimativo de la relación entre la variable dependiente E y el conjunto de variables independientes discutido anteriormente.

En esta ecuación todos los coeficientes son significativos y tienen los signos esperados. La ecuación "explica" una parte muy importante de la varianza de la variable dependiente. La eficiencia técnica aumenta con la escala de la planta, la experiencia en el trabajo, la actividad inventiva local, la vendimia del equipo y la utilización de la planta; la eficiencia es menor si hay reparaciones importantes en el mes y si la planta fue construída en Europa.

La variable más importante para explicar las diferencias en eficiencia técnica entre plantas es el año de instalación. De acuerdo con la ecuación 20), la eficiencia ha aumentado un 2,7% por año en plantas recién instaladas. Un factor menor es la escala de la planta; la diferencia en eficiencias entre la planta mayor y la menor es 6,8%, pequeña en comparación con la diferencia de 49% entre la planta más nueva y la más vieja, manteniendo constantes las demás variables. Una planta manufacturada en Estados Unidos es ligeramente más eficiente, un 0,6%, que una manufacturada en Europa.

La variable que explica más parte de la variación de las eficiencias técnicas dentro de una misma planta, es la utilización de la planta. También es cierto que una planta aumenta su eficiencia con la experiencia en el trabajo, pero estos aumentos son menores a medida que pasa el tiempo; la mayor ganancia asociada con este factor fue 0,43% en un año y la menor 0,05% en un año. Los aumen-

^{43/} Para valores de σ_i ver Ramírez (30).

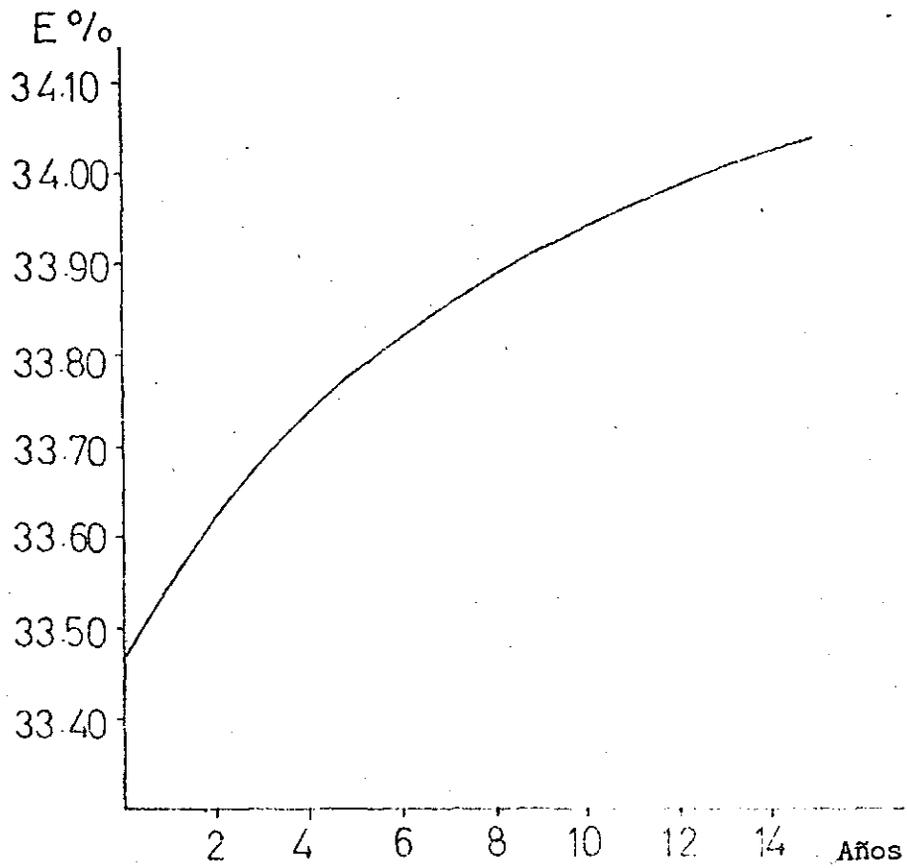


Figura 3

Efectos de la experiencia y la adaptación
sobre la eficiencia técnica

tos en eficiencia asociados con el factor de actividad inventiva local fueron en general muy pequeños: el mayor fue 0,87% y los menores fueron despreciables. El mayor valor es excepcional, ocurrió en una planta con muy poco mantenimiento acumulado y muy nueva al comienzo del período. Esto sugiere que el efecto asociado con esta variable es importante en las plantas recién instaladas, pero que todas las ganancias posibles se realizan rápidamente. Tenemos que recordar que esta variable es tan solo una aproximación de la variable en que realmente estamos interesados. En la figura 3 se puede ver el efecto de estas dos últimas variables sobre la eficiencia técnica a lo largo del tiempo en la planta promedio, con las demás variables constantes ^{44/}.

Los resultados son en general los esperados. El único resultado un tanto sorprendente es la pequeña influencia de la escala de la planta sobre su eficiencia técnica.

^{44/} Para un análisis más detallado ver Ramírez (30).

IV

Queda por ver cómo los distintos factores que modifican la eficiencia técnica de una planta, afectan las cantidades de insumos necesarias para la producción.

Para este análisis supondremos que hay una función de producción que permite substitución entre los factores y que cambia en el tiempo por medio de nuevos procesos. De las diferentes técnicas descritas por esta función se escoge una cuando se construya la máquina, de tal modo que el costo de producción es mínimo a los precios de los factores en el país donde se construye la máquina. Estos requerimientos de factores pueden luego modificarse a un cierto costo.

Se supone que en el país donde se usa la máquina se modifican estos coeficientes de tal modo que el costo total de producción durante la vida de la maquinaria, incluyendo el costo de la modificación, sea mínimo.

En estas condiciones ^{45/}, es óptimo modificar la máquina lo más pronto posible, pero no hasta el punto que hubiese sido el óptimo si la maquinaria se hubiese construido en el país donde se usa; en cada momento la cantidad de insumos que se van a usar no depende del precio relativo de los mismos: estos precios relativos actúan sobre la decisión de modificar o no la maquinaria en un momento dado, y, dependiendo de las condiciones en que se realiza este proceso, de cuánta debe ser esta modificación.

Este proceso también puede depender de la experiencia ganada en la operación de la planta.

Sobre la base de este modelo, estimamos funciones de la forma

$$K/Q = g_1 (PMP , U , R , OR , MA , PA/PMP , A) \quad (21)$$

^{45/} Para un modelo matemático que incluye estas suposiciones y produce estos resultados ver Ramírez (30).

$$L/Q = g_2 (PMP , U , R , OR , MA , PA / PMP , A) \quad (22)$$

$$F/Q = g_3 (PMP , U , R , OR , MA , PA / PMP , A) \quad (23)$$

Los precios no se incluyen en estas ecuaciones, por los motivos explicados anteriormente. Las variables independientes incluidas son las mismas que se usaron en la "explicación" de la eficiencia técnica.

Valores promedios para las variables dependientes se encuentran en la Tabla 4 ^{46/}.

Las ecuaciones se estimaron por Mínimos Cuadrados Generalizados con una estructura de los residuos similar a la del caso anterior ^{47/}. Los resultados son los siguientes:

$$\ln K/Q = 4,3051 + 0,0000276 PMP - 0,0202A - 0,0127 U + 0,0158 R +$$

$$(3,855) \quad (17,36) \quad (20,27) \quad (0,537)*$$

$$+ 0,156 OR + 0,0317 / MA + 0,7912 / (PA / PMP)$$

$$(3,336) \quad (2,748) \quad (10,521)$$

$$R^2 = 0,913 \quad (24)$$

$$\ln L/Q = 5,5683 - 0,000113 PMP - 0,0313 A - 0,0224 U + 0,00027 R -$$

$$(5,081) \quad (11,15) \quad (14,289) \quad (0,003)*$$

$$- 0,3394 OR - 0,153 / MA - 1,5256 / (PA / PMP)$$

$$(3,280) \quad (5,009) \quad (9,538)$$

$$R^2 = 0,817 \quad (25)$$

^{46/} Una relación completa de estas variables se encuentra en Ramírez (30) Apéndice.

^{47/} Para mayores detalles ver Ramírez (30).

$$\ln F/Q = 4,4785 + 0,00000008 \text{ PMP} - 0,0266 \text{ A} - 0,00796 \text{ U} - 0,02917 \text{ R} +$$

$$(0,0075) \quad (17,999) \quad (8,902) \quad (1,089)^*$$

$$+ 0,1930 \text{ OR} + 0,2077 / \text{MA} + 0,4299 / (\text{PA} / \text{PMP})$$

$$(3,080) \quad (7,240) \quad (3,949)$$

$$R^2 = 0,882$$

(26)

Como en el caso pasado, las ecuaciones "explican" la mayor parte de la varianza de las variables independientes; todos los coeficientes son significativos a un nivel de 99% , con la excepción de los marcados con un asterisco (*), y tienen los signos esperados de acuerdo con el modelo o con estudios previos.

Las variables actúan de un modo muy distinto sobre cada uno de los insumos. La variable de escala aumenta ligeramente el uso del capital, disminuye el de trabajo y no tiene un efecto significativo sobre el uso del combustible; la diferencia en el uso de capital entre la planta más pequeña y la más grande es de 0,306 kw de capacidad / kwh generados (un 9,12% del uso promedio de capital); en el uso de trabajo es 2,10 horas-hombre / Mwh (un 38% del uso promedio); y en el uso de combustible es 0,01 MBTU / kwh (un 0,048% del uso promedio), lo cual constituye una cantidad sumamente pequeña.

El efecto "vendimia" es una reducción en las cantidades usadas de los tres factores: esta reducción es de alrededor de 2% por año para capital, 3,1% por año para trabajo y 2,6% por año para el combustible.

Como era de esperarse un factor muy importante es la utilización de capacidad, principalmente en lo que a trabajo y capital se refiere. Para el valor promedio de las variables independientes un aumento del 10% en utilización "produce" una reducción de 5,5% en capital, 9,6% en trabajo y 3,4% en combustible. Naturalmente estos resultados son distintos en cada una de las plantas.

Los requisitos de trabajo, combustible y capital difieren con el origen de la planta; las plantas manufacturadas en los Estados Unidos usan menos trabajo y más capital y combustible que las europeas (el efecto de esta variable

TABLA 4

| Planta | K/Q | L/Q | F/Q |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 1,702 | 17,870 | 15,007 |
| 2 | 1,651 | 11,649 | 12,011 |
| 3 | 1,386 | 2,150 | 5,004 |
| 4 | 5,864 | 10,501 | 10,341 |
| 5 | 2,208 | 6,925 | 11,820 |
| 6 | 2,767 | 3,382 | 14,135 |
| 7 | 4,681 | 8,306 | 57,108 |
| 8 | 2,819 | 2,186 | 58,897 |
| 9 | 4,677 | 2,319 | 59,846 |
| 10 | 2,1457 | 5,350 | 19,523 |
| 11 | 2,559 | 1,862 | 16,193 |
| 12 | 2,148 | 2,641 | 15,036 |
| 13 | 3,211 | 4,627 | 15,059 |
| 14 | 1,973 | 0,980 | 10,883 |
| 15 | 2,122 | 0,731 | 11,212 |
| 16 | 4,754 | 11,690 | 20,491 |
| 17 | 1,332 | 2,695 | 12,222 |
| 18 | 15,762 | 12,641 | 14,204 |
| 19 | 1,724 | 1,075 | 15,105 |
| 20 | 1,597 | 0,761 | 18,441 |

Estos son valores promedio para cada planta.

K/Q está dado en kw de capacidad/kwh.

L/Q en horas-hombre/Mwh.

F/Q en KBTU/Kwh.

es mucho más importante en este caso que en el caso de la eficiencia técnica).

La variable que refleja aprendizaje es también más importante en este caso, siendo su efecto del mismo orden de magnitud que el de "vendimia". El efecto de la variable de mantenimiento es más pequeño y con el anterior tiende a disminuir las cantidades de capital y combustible y aumentar las de trabajo, como era de esperarse. El efecto combinado de estas dos variables a lo largo del tiempo, puede apreciarse en las figuras 4 , 5 y 6.

El efecto de las tres últimas variables, y hasta cierto punto de la variable de escala, es más importante en la "explicación" de la intensidad de uso de los insumos que en la "explicación" de la eficiencia técnica. La "dummy" de reparaciones no es importante en este caso. Las demás variables son importantes en ambos análisis 48/ .

48/ Consultar Ramírez (30) para mayor información.

Estos resultados están de acuerdo, en general, con lo que se conoce sobre la industria. El estudio muestra que diferencias en eficiencia técnica (relativa a la mejor práctica en la muestra) entre plantas y en una misma planta en diferentes momentos, están relacionadas con varias variables. La más importante de estas variables es la utilización de la capacidad; aumentos en esta variable están asociados con disminuciones en el uso de los tres insumos; siendo su efecto mayor para capital, luego para trabajo y finalmente para combustible. Esto está en un todo de acuerdo con el estudio de Barzel ^{49/} quien encuentra: "... además de economías de escala, hay economías substanciales en el uso más intensivo del equipo disponible; estas economías son obvias en el caso del capital. Son muy importantes en el caso del trabajo, el cual es casi un factor fijo después de instalada la planta. Aún el combustible puede ser ahorrado al operar la planta de un modo más intensivo...". Este es el único estudio que analiza el efecto de la utilización de capacidad.

Se encontraron economías de escala, pero con una importancia menor que en otros estudios; su efecto es importante para el trabajo, menos importante con respecto al capital y no es estadísticamente significativo para el combustible. El orden es el mismo que el encontrado por Barzel, Komiya ^{50/}, Dhrymes and Kurz ^{51/} y Galatin ^{52/}, pero el valor de las elasticidades de escala para los tres factores es mucho menor en nuestro trabajo que en el de ellos.

Movimientos en la función de producción, representados aquí por el coeficiente del año en que la planta fue construída son muy importantes en este estudio: representan un promedio de 2,7% por año de aumento en la eficiencia técnica. El efecto sobre los insumos es una reducción en los requerimientos de todos, con la reducción en trabajo (3,1% por año), y combustible (2,7% por año) mayor que en capital (2,0% por año). Otros estudios usan variables "dummy" o estiman diferentes funciones para diferentes períodos para estudiar este efecto. Los movimientos no son uniformes durante el período bajo consideración pero

^{49/} Barzel (6)

^{50/} Komiya (25)

^{51/} Dhrymes and Kurz (10)

^{52/} Galatin (15)

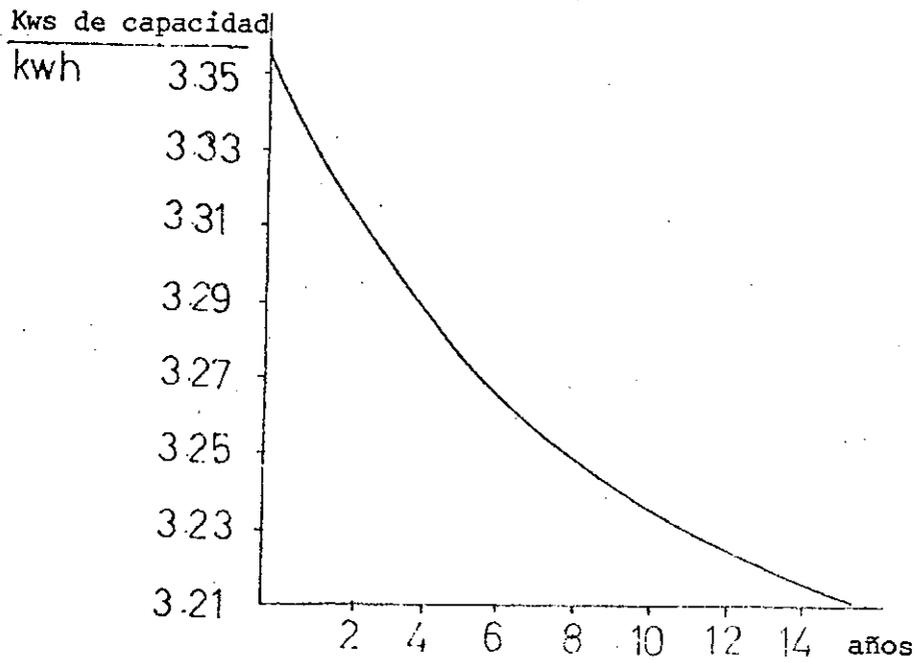


Figura 4

Efectos de la experiencia y la adaptación sobre la relación K/Q

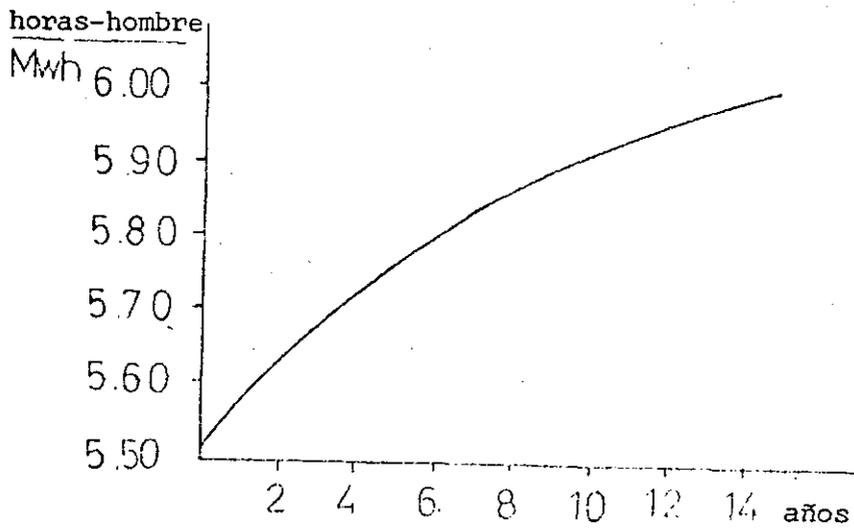


Figura 5

Efectos de la experiencia y la adaptación sobre la relación L/Q

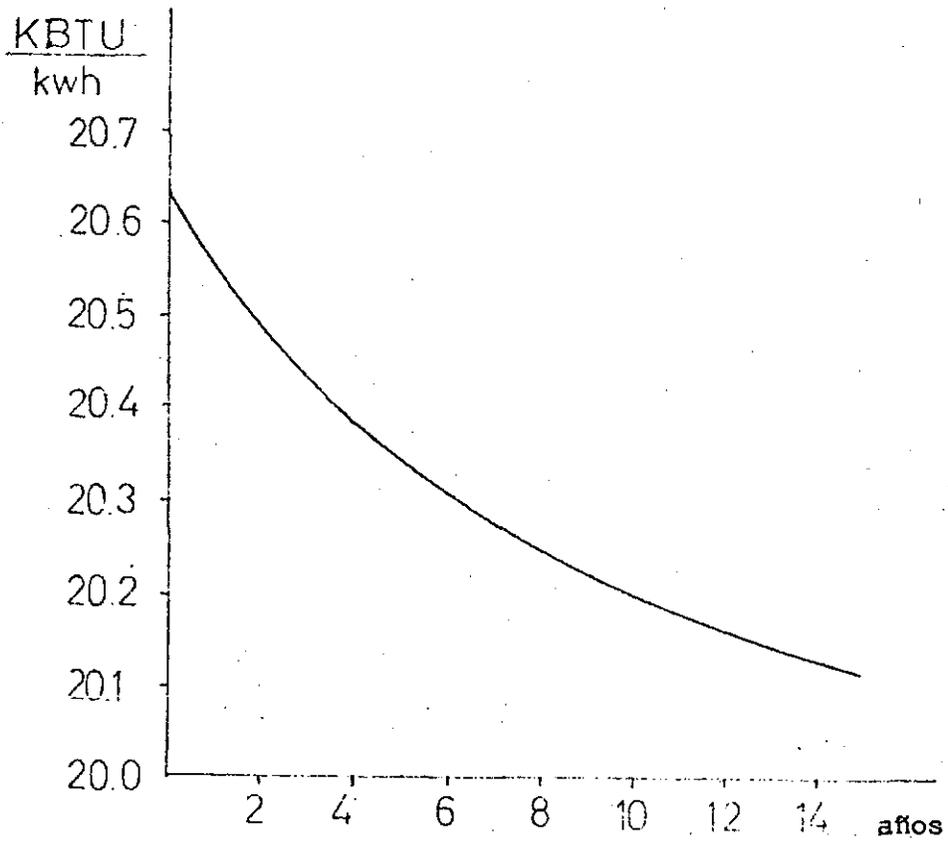


Figura 6

Efectos de la experiencia y la adaptación
sobre la relación F/Q

la tenencia general es la misma encontrada aquí; el valor promedio de las reducciones en insumos es del mismo orden de magnitud (alrededor de 2,5% por año) y las diferencias en el ahorro de los insumos siguen el mismo patrón encontrado en este trabajo.

Komiya y Dhrymes and Kurz usan datos tan solo para plantas nuevas, y por lo tanto no tienen información sobre cambios en eficiencia y en uso de insumos una vez la planta está en operación.

Barzel utiliza para el trabajo y el combustible una variable definida como "horas acumuladas de operación", variable que él toma como un índice de depreciación. El coeficiente de la variable para la ecuación de trabajo no fue significativo; para la ecuación de combustible fue significativo pero de signo incorrecto de acuerdo con su interpretación. Bajo nuestra interpretación esta variable estaría asociada con el aprendizaje y su resultado corrobora la hipótesis de existencia de este efecto.

En nuestro trabajo, la variable de aprendizaje (Producción acumulada / Producción máxima posible) fue significativa: la eficiencia de la planta aumenta con aumentos en esta variable en un modo pequeño pero significativo: la variable es muy importante en las ecuaciones que "explican" el uso de los insumos; tanto capital como combustible disminuyen en tanto que trabajo aumenta con aumentos en la variable, lo cual sugiere que la experiencia permite una sustitución de capital y combustible por trabajo. Las mismas apreciaciones se aplican a la variable "mantenimiento acumulado", pero su efecto es mucho menor; esta variable es sólo una aproximación de la variable gastos en "alteración de la planta" y es de esperarse que si hubiese datos sobre esta variable, su efecto se podría distinguir de un modo mejor. Es posible que sean estos gastos los que permiten la incorporación de la experiencia en las modificaciones de la planta.

Sobre un período de cinco años de operación promedio el efecto combinado de estas dos variables es una reducción de 0,3985 kw de capacidad/kwh (11,88%), en el uso del capital; de 3,63 KBTU / kwh (17,68%) en el del combustible y un aumento de 2,27 horas-hombre / kwh (41,07%) en el de trabajo; estos valores son estimados para el valor promedio de las demás variables. Estas reducciones y aumentos equivalen a una reducción de \$ 37,20 / Mwh o sea un 17,7% del costo; a precios de \$ 5,92 / hora-hombre, \$ 11,95 / MBTU y \$ 18,22 / kw de capacidad por

mes, los promedios para el período. La substitución de factores producida por medio de estos efectos puede observarse en las figuras 7 , 8 y 9.

Las otras dos variables incluídas en el estudio fueron origen de la planta y una "dummy" para distinguir meses en los cuales la planta no operó en condiciones normales. Las plantas europeas son ligeramente menos eficientes que las americanas, utilizan menos capital y combustible y más trabajo que ellas. Teniendo en cuenta estos efectos un Mwh generado por una planta europea resulta \$ 6,16 más barato (2,93%) que por una americana. La diferencia es muy pequeña y probablemente no es significativa dadas todas las fuentes de error. Esto explica la presencia de plantas de distintos orígenes, a pesar de las diferencias en eficiencia técnica y en uso de insumos.

La importancia de las variables no es la misma para todas las plantas. Las variables que representan aprendizaje y actividad inventiva local son mucho más importantes en plantas nuevas, lo cual sugiere que la mayor parte de estos efectos acontece durante los primeros años de operación de la planta. Desafortunadamente los datos son escasos para estos primeros años y no se pudo analizar completamente este fenómeno.

Queremos hacer alguna referencia a algunos estudios sobre eficiencia técnica en otras industrias, en particular al estudio de Hollander sobre plantas de rayón de la DuPont ^{53/} y al de Jorge Katz sobre la industria argentina ^{54/}.

Hollander encontró que una gran parte de las mejoras técnicas ^{55/} están asociadas a lo que él llama "cambio técnico menor" ^{56/} producido, en general, en las plantas. La contribución de estos cambios "menores" fue alrededor del 80% del cambio total en las cuatro plantas estudiadas. Estos cambios requirieron inversión en planta y equipo, pero en la mayoría de los casos la inversión fue reemplazo de equipo, necesario aún en la ausencia de estos cambios, más bien que

^{53/} Hollander (20)

^{54/} Katz (22)

^{55/} Medidas por reducción en costos unitarios no debida a cambios en precios de los factores.

^{56/} "... un cambio técnico se consideró "menor" si su desarrollo fue un proceso relativamente simple".

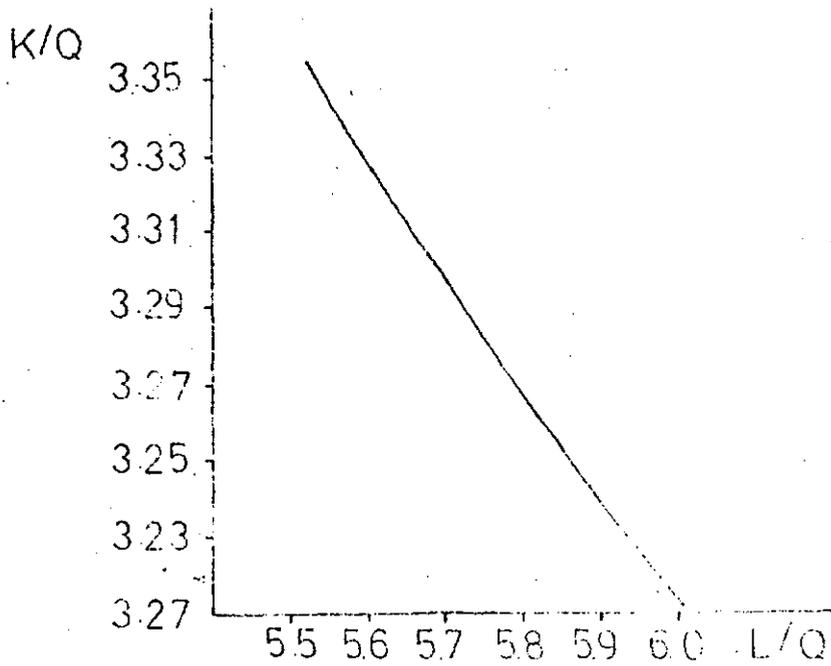


Figura 7

Sustitución entre trabajo y capital originado en la experiencia y adaptación

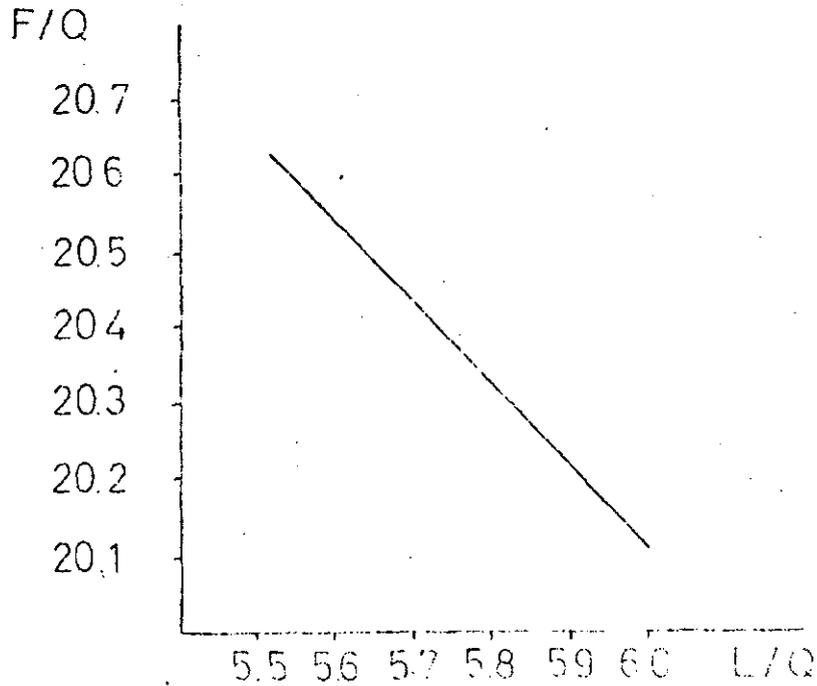


Figura 8

Sustitución entre trabajo y fuel-oil originado en la experiencia y adaptación

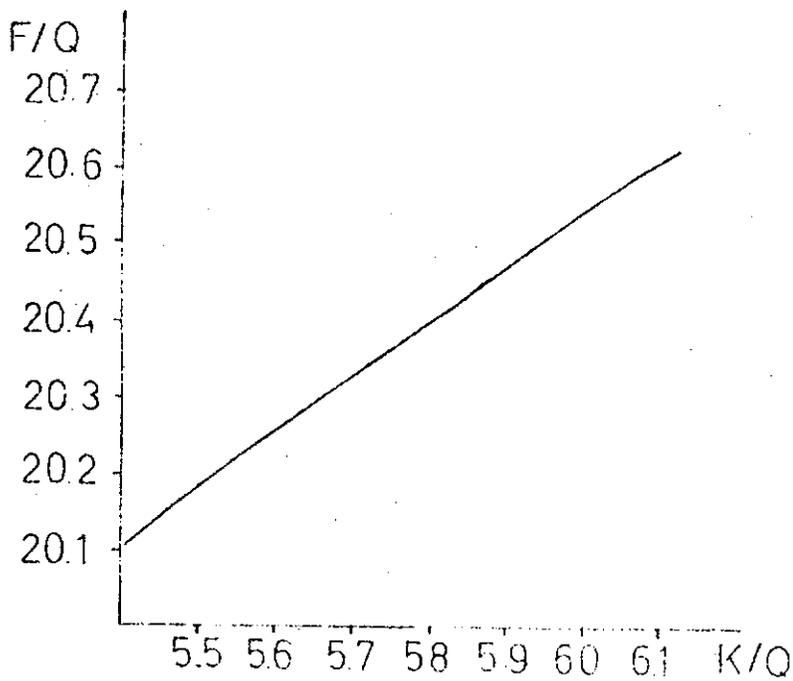


Figura 9

Variaciones en la relación capital fuel-oil originada en la experiencia y adaptación

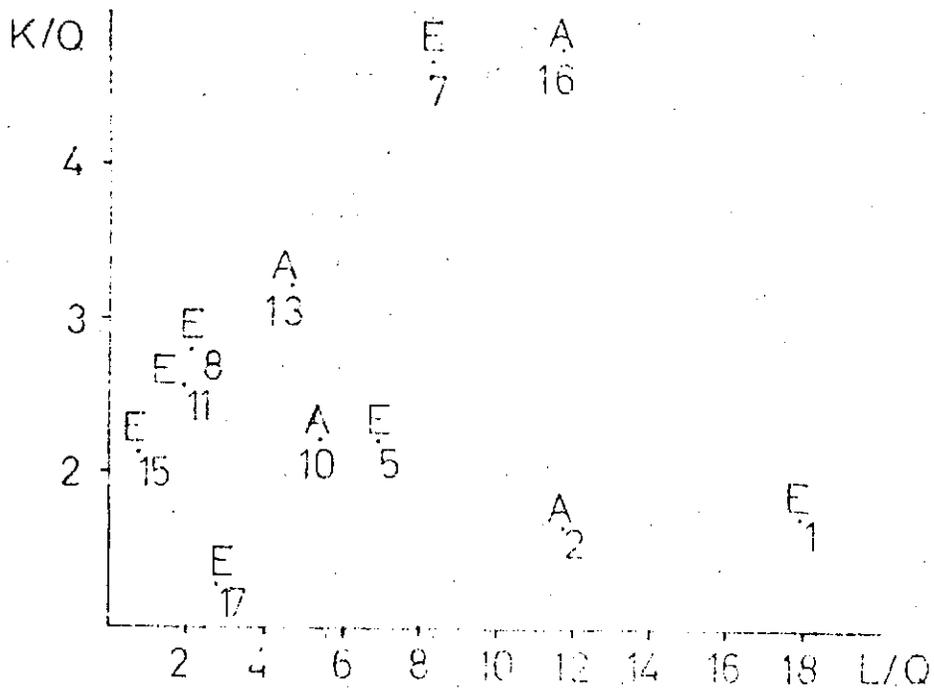


Figura 10

Uso de capital y trabajo en plantas europeas (E) y norteamericanas instaladas entre 1959 y 1962

adiciones netas al acervo de capital.

Katz estudia varias industrias argentinas, estima cambio tecnológico en ellas y relaciona estos cambios con varias variables que miden pagos por tecnología importada y actividad inventiva local. Los resultados principales son: "... 90% de la varianza interindustrial en cambio tecnológico está "explicada" estadísticamente por la varianza interindustrial de dos variables: (1) la tasa de crecimiento del volumen físico de producción, y (2) gastos acumulados de investigación y desarrollo, llevados a cabo localmente para adaptar a las condiciones domésticas y/o mejorar marginalmente un diseño de producto y/o proceso obtenido previamente por importación". La conclusión es luego reforzada por un estudio del desarrollo de varias industrias.

Nuestro estudio muestra que el cambio tecnológico en la industria de la generación de energía eléctrica viene principalmente del extranjero, incorporado en el equipo generador, y tiene la mayor parte de las características del cambio tecnológico en la misma industria en los Estados Unidos y en Europa. Pero juntamente con este cambio importado hay un proceso interno de aprendizaje y adaptación, cuya dirección principal consiste en modificar la tecnología importada al ambiente económico local por medio de cambios en las proporciones de los factores.

diciembre de 1976

BIBLIOGRAFIA

1. Aigner, D.J., and S.F. Chu, "On estimating the Industry Production Function", American Economic Review, 1968.
2. Alchian, A.A., "Reliability of Progress Curves in Airframe Production", Econométrica, 1963.
3. American Society of Mechanical Engineers, Oil and Gas Engines Power Reports.
4. Balestra, P. and M. Nerlove, "Pooling Cross Section and Time Series Data in the Estimation of a Dynamic Model: the Demand for Natural Gas", Econométrica, 1966.
5. Barzel, Y., "The Production Function and Technical Change in the Steam Power Industry", Journal of Political Economy, 1964.
6. Baumeister & Marks, Standard Handbook for Mechanical Engineers, Mc Graw Hill, 1967.
7. Calvo, G., "Transaction's Demand for Money, Capacity Utilization and Efficiency", mimeo, 1971, CID, Universidad Nacional de Colombia.
8. Chetty, V.K., "Pooling of Time Series and Cross Section Data", Econométrica, 1968.
9. Dhrymes, P., Econometrics: Statistical Foundations and Applications, Harper & Row, 1970.
10. Dhrymes, P. and M. Kurz, "Technology and Scale in Electricity Generation", Econométrica, 1964.
11. Diesel Electric Manufacturers, Standard Practices.
12. Farrell, M.J., "The Measurement of Productive Efficiency", Journal Royal Statistical Society, Series A, Part 3, 1957.
13. Farrel, M.J., and M. Fieldhouse, "Estimating Efficient Production Functions under Increasing Returns to Scale", Journal Royal Statistical Society, Series A, Part 2, 1962.
14. Fellner, W., "Two Propositions in the Theory of Inducer Innovations", Economic Journal, 1961.
15. Galatin, Economies of Scale and Technological Change in Thermal Power Generation, North Holland, 1968.
16. Hartley, K., "The Learning Curve and its Applications to the Aircraft Industry", Journal of Industrial Economics, 1965.
17. Hartley, K., "Estimating Military Aircraft Production Outlays: The British Experience", Economic Journal, 1969.
18. Hildebrand, G. and T. Liu, Manufacturing Production Functions in the United States, 1957, Cornell University Press, 1965.
19. Hirsch, "Manufacturing Progress Functions", Review of Economics and Statistics, 1952.
20. Hollander, S., The Sources of Increased Productivity: A Study of Dupont Rayon Plants, MIT Press, 1965.

21. Hughes, W.R., "Scale Frontiers in Electric Power", in Capron, W.N., Technological Change in Regulated Industries, Brookings Institution, 1971.
22. Katz, J., Importación de tecnología, aprendizaje local e industrialización dependiente, Instituto Torcuato de Tella, (mimeo), 1972.
23. Kennedy, C., "Induced Bias in Innovation and the Theory of Distribution", Economic Journal, 1964.
24. Kennedy, C. and A.P. Thirlwall, "Survey in Applied Economics: Technical Change", Economic Journal, 1972.
25. Komiya, R., "Technological Progress and the Production Function in the United States Steam Power Industry", Review of Economic and Statistics, 1962.
26. Koopmans, T.C., "Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities", Cap. III de Koopmans, T.C., (ed), Activity Analysis of Production and Allocation, Cowle Commission, Monograph 13, Wiley, 1951.
27. Lichty, L.C., Combustion Engine Processes, Mc Graw Hill, 1967.
28. Mc Kinnon, "Foreign Exchange Constraints in Economic Development and Efficient Aid Allocation", Economic Journal, 1964.
29. Phelps, E.S., "The New View of Investment: A Neoclassical Analysis", The Quarterly Journal of Economics, 1962.
30. Ramírez, M., Technical Change in the Colombian Electric Power Industry, Tesis doctoral no publicada, Yale 1973.
31. Rapping, L., "Learning by Doing and World War II Production Functions", Restat, 1965.
32. Samuelson, P.A. "A theory of Induced Innovation along Kennedy-Weizsacker Lines", Review of Economics and Statistics, 1965.
33. Seitz, W.D., "The Measurement of Efficiency Relative to a Frontier Production Function", American Journal of Agricultural Economics, 1970
34. Solow, R.M. "Technical Change and the Aggregate Production Function", Review of Economics and Statistics, 1957
35. Solow, R.M. "Investment and Technical Progress", en Arrow, K.J., S. Karlin and P. Suppes, Mathematical Methods in the Social Sciences, 1959, Stanford University Press, 1960.
36. Sporn, F., Technology, Engineering and Economics, MIT Press, 1969.
37. Timmer, C.P., On Measuring Technical Efficiency, Tesis Doctoral no publicada, Harvard, 1969.
38. Theil, H., Principles of Econometrics, Wiley, 1971.
39. Thoumi, F.E., Industrial Capacity Utilization in Colombia: some Empirical Findings, (mimeo), Center for Economic Research, Department of Economics, University of Minnesota, Paper 14, 1972.
40. Wright, "Factors Affecting the Costs of Airplanes", Journal of Aeronautical Sciences, 1936.

