

00881

2/29.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ECONOMIA

**Estructura productiva y cambios
tecnológicos:
un análisis de la industria hidro-
energética**

T E S I S

Que para obtener el grado de:
DOCTOR EN ECONOMÍA

P R E S E N T A :

Juan José Jardón Urrieta

26524.77

México, D. F.

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION

DISCONTINUA

Estructura productiva y cambios tecnológicos: un análisis de la industria hidroenergética.

Juan J Jardón U.^a

Resumen

En esta tesis se tiene por objetivo analizar las modificaciones de la estructura productiva como consecuencia de los efectos de los cambios tecnológicos. El aprovechamiento que se desarrolla se basa en una concepción de árbol industrial y la transformación de los procesos, equipos y materiales necesarios para llevar a cabo la producción. El modelo de árbol industrial es la base para analizar la industria de la producción de turbinas mediante la transformación de la materia prima por los procesos y equipos y estos a su vez afectados por las innovaciones.

Se hace una análisis de los factores que determinan la trayectoria tecnológica de las turbinas hidráulicas y la industria metal mecánica dentro de un enfoque evolucionista mirando a dos aspectos: el árbol industrial turbinas compuesto por procesos, equipos y materiales (P,E,M) y la evolución de cada uno de estos (P,E,M) medidos por un índice tecnoeconómico. A partir de una descripción y concepción de la evolución de las turbinas Francis desde principio de siglo, de la información de la producción de los principales fabricantes, y de series históricas sectoriales se analiza los aspectos técnicos y económicos que determinan la trayectoria tecnológica dominante. Se concluye, primero, que todavía el tamaño y la potencia dominan junto con la intensidad de las operaciones con arranque de viruta y el material soldaduras por el lado técnico y los precios de los aceros por el lado económico la trayectoria dominante. Segundo, existen variables potenciales vigentes como los procesos intensidad de diseño y las operaciones de pegado con soldadura (las cuales impactan sobre los procesos con arranque y sin arranque de viruta), y los materiales nuevos (basados en aleaciones con mayor dureza, soldabilidad, y facilidad de mecanizar) todos ellos son los que pueden en un periodo sustituir a la trayectoria dominante.

También se desprende de los resultados una estructura productiva de la industria metal mecánica basada en la permanencia de ciertos procesos, equipos y materiales como elementos que gobiernan las modificaciones en la estructura productiva base para entender la desaparición y sustitución de sectores económicos y transformaciones de industrias y firmas.

Abstract

This article analyses those factors underlying the technological trajectory of hydraulic turbines and the metal products industry within an evolutionary framework, looking at two aspects: industrial tree turbines constituted by processes, equipment and materials (PEM), and the evolution of each of these measured through a functional techno-economic Index. Technical and economic factors are analysed to propose the dominant technological trajectory. These factors come from the evolution of the turbines since the beginning of the century, from the data of the main turbine producers, and from time series of sectors such as the metal products industry, and the machinery and steel industry. The conclusive facts are: first, size and potency together with intensity of the metal cutting operations and the welding compound, on the technical side, and, the price of steel on the economic side, are the major determinants of the technological trajectory. Secondly, we conclude that there are potential variables such as the intensity of design processes and soldering operations (which impact the process of metal cutting and the process of forming) and new materials (based on firmer alloys, soldering feasibility and mechanisation capacity). All of these elements may come to replace the dominant trajectory for a certain period.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de varias instituciones públicas y privadas y sin la colaboración y consejo de especialistas y colegas en la materia.

En particular quiero agradecer a la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Economía por los diferentes apoyos que obtuve para la información en México y en el extranjero para la realización de esta investigación.

Quiero agradecer aunque sea en forma imprecisa a diferentes ingenieros de la empresa Comisión Federal de Electricidad tanto desde el punto de vista técnico como por su apoyo para conseguir información a veces muy difícil de obtener. A diferentes personas que laboran en empresas privadas del ramo de la metal mecánica, y a productores de turbinas nacionales e internacionales con quien tuve oportunidad de discutir aspectos técnicos. A las empresas como TEISA, Neyrpic, Sulzer Escher Wyss, Voith, Mitsubishi mi agradecimiento por su colaboración.

Finalmente quiero agradecer a los miembros del Area de Economía y Energía por su apoyo y comentarios en diferentes eventos académicos donde tuve la oportunidad de discutir el tema de la investigación. En especial quiero agradecer a Angel de la Vega Navarro por su invaluable colaboración asesoría y apoyo.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 1 |
| Sección I: Marco teórico de la estructura | |
| 13 | |
| productiva y los cambios tecnológicos. | |
| 2 Antecedentes, ciclos y estructura productiva | 15 |
| I Evidencias del crecimiento y la productividad | 17 |
| 1. Algunas consecuencias de la productividad | 17 |
| 2. Los países industrializados | 18 |
| 3. Los países en desarrollo | 25 |
| II Los ciclos de largo plazo | 35 |
| III Cambios estructurales y crecimiento | 42 |
| IV Conclusiones | 48 |
| 3 Cambio técnico y trayectorias tecnológicas | 55 |
| I El cambio técnico en la teoría económica | 56 |
| 1. Antecedentes | 56 |
| 2. Firmas e industrias | 62 |
| 3. Innovaciones y apropiabilidad | 74 |
| 4. Mercados: concentración y tamaño | |
| 77 | |
| 5. Ciencia y tecnología | 78 |
| 6. Conexiones entre innovaciones | 79 |
| 7. Difusión | 80 |
| 8. Capacidades tecnológicas de los países menos industrializados | 81 |
| II Trayectorias tecnológicas e innovaciones | 84 |
| 1. Conceptos y definiciones | 84 |
| 2. Las interrelaciones entre las fuerzas de expulsión de las innovaciones y las trayectorias | 87 |

| | | |
|-----|---|-----|
| | 3. Análisis sectoriales e intentos de agrupar y taxonomizar las innovaciones | 95 |
| | 4. Un agrupamiento de las innovaciones | |
| 100 | | |
| | III Indices tecno-económicos | 105 |
| | IV Conclusiones | 107 |
| | Sección II : Análisis de la influencia de los cambios tecnológicos y las relaciones técnicas de producción en la estructura productiva: un modelo de árbol industrial y una aplicación al sector hidro-energético. | 115 |
| | 4 Análisis de la estructura productiva bajo un modelo de árbol industrial. | 119 |
| | 1. Introducción | 119 |
| | 2. El modelo | 125 |
| | 3. Desarrollo | 129 |
| | 4. Dinámica económica y el índice IDETEIC | 136 |
| | 5. Permeabilidad | 140 |
| | 6. Conclusiones | 142 |
| | 5 Cambios en la estructura productiva dados por el árbol industrial hidro-energético. | 147 |
| | 1. Introducción | 147 |
| | 2. Arbol industrial hidro-energético R_h | 148 |
| | 3. El R_f una derivación de R_h | 149 |
| | 4. Dualismo del equipo terminal | 150 |
| | 5. Escalarización de R_f | 151 |
| | 6. Eficiencia potencial | 153 |
| | 7. Dinámica tecno-económica | 154 |
| | I Evolución de turbinas Francis | 154 |
| | II Tasa y dirección de la actividad tecnológica. | 168 |
| | III Hacia un grupo de trayectorias dominantes | 180 |
| | IV Variables latentes y subtrayectorias potenciales vigente. | 181 |
| | 8. Descomposicion de un paradigma | 185 |
| | 9. Estructura productiva y cambios tecnológicos. | 187 |
| | 10. Conclusiones. | 193 |

| | |
|--|------------|
| 6 Conclusiones | 199 |
| Sección III : Apéndices de los capítulo 2,3,4 y 5 | 221 |
| Referencias y bibliografía | 353 |

Cuadros incorporados en las secciones I y II

| | | |
|-----------|---|------------|
| | 2-5 Contribuciones al crecimiento del Producto Interno Bruto 1949-59 (Tasas anuales de crecimiento). | 21 |
| 25 | 2-6 Crecimiento anual promedio del PNB por regiones 1977-1985. | |
| | 2-3 Razones de productividad de EUA como promedio de cambio en % . Diferentes periodos 1919-1973 | 54 |
| | 4-1 Interacción de variables. | 145 |
| | 5-1 Componente H-Ns. | 156 |
| | 5-2 Componente H-Ns ajustado. | 158 |
| | 5-3 Tasa de crecimiento de las turbinas. | 161 |
| | 5-4 Número de trabajadores por máquina y productividad de la mano de obra en los Estados Unidos. | 165 |
| | 5-5 Indices de concentración. | 166 |
| | 5-6 Promedio de la participacion de fabricantes afuera de su pais de origen. | 166 |
| | 5-7 Análisis de partes de una turbina Francis. | 188 |
| | 5-8 Tasa de dirección de las variables en régimen. | 190 |
| | 5-9 Arbol industrial dinámico Rd. | 192 |
| | 5-10 Relacion de regresiones | 196 |

Recuadros incorporados en las secciones I y II

| | | |
|--|--|------------|
| | R-5-1 Variables. | 169 |
| | R-5-2 Descripción de las variables. | 169 |

Gráficas incorporadas en las secciones I y II

| | |
|--|------------|
| 5-1 Componente Hs. | 159 |
| 5-2 Potencia media Kw. | 160 |
| 5-3 Altura promedio. | 161 |
| 5-4 Índice costo Mw-Proyecto Hidro-eléctrico. | 163 |
| 5-5 Índices costo Mw-Turbina. | 164 |
| 5-6 Discontinuidad del componente H-Ns. | 186 |

Introducción

El título de esta investigación pretende decir todo en unas cuantas palabras. Tanto la estructura productiva como los cambios tecnológicos traen consigo facetas que al conjuntarlas se interpretan diversos aspectos. La intención es, en primer término, llegar a una concepción más acabada de la "estructura productiva", y, en segundo, continuar con las investigaciones que tratan el origen de los cambios tecnológicos como fundamento para interpretarlos junto con las transformaciones de las economías.

En la economía aunque se usa el concepto de estructura productiva de diversas maneras, no se le ha estudiado como objetivo en sí mismo. Por un lado, las transformaciones de las economías se pueden interpretar bajo una concepción de cambios estructurales la cual implica una baja precisión en la tipificación de los cambios ya que pueden referir a problemas económicos, sociales, tecnológicos, institucionales, etc. , cada uno de los cuales le da un cierto matiz. Por otro lado, este mismo concepto ha sido la panacea para explicar las transformaciones de la economía al describir distintos estadios de desarrollo. La llamada planeación normativa lo ha utilizado, y también aparece bajo un disfraz de una política económica positivista. Las transformaciones mismas que hoy se describen no tienen mejor recurso que acudir a este concepto.

Esta investigación parte de considerar las relaciones técnicas de producción como base para desarrollar un modelo más complejo de estructura productiva. La estructura productiva o de producción tiene que ver en primera instancia con la organización de las industrias y empresas bajo un rigor tecnológico. Esto no quiere decir que no se consideren otros factores como el precio, o la apropiación de los medios de producción, o el financiamiento, o los mercados. Simplemente se considera una estructura productiva primaria basada en las relaciones técnicas de producción para hasta cierto punto privilegiar una forma de evaluar si los cambios tecnológicos en sus orígenes dependen en menor o mayor grado de otros factores, desde los económicos, y con esto los del mercado mismo, hasta los biológicos, sociales y culturales. En el fondo

hay una estructura productiva que está en la base y que no necesariamente se modifica por la influencia de otros factores económicos, biológicos o sociales. Pero desde luego que también se puede modificar, pero esta modificación puede seguir un patrón en una dirección u en otra, en una nueva o en una ya conocida. Puede ser que el nuevo estadio de la estructura, ya sea con modificaciones antes no conocidas o ya conocidas (no necesariamente retrocesos), se deba a factores mismos en el seno de estas relaciones tecnológicas o a otros factores promovidos, o moldeados por las fuerzas económicas, los fenómenos sociales, las costumbres, las perversidades psicológicas u otros factores.

La estructura productiva se puede basar en otros conceptos como las estructuras sociales, institucionales donde operan otros elementos que dan por resultado una estructura diferente. Se puede pensar en la organización de una economía X basada en una relación técnica exclusivamente y también se puede tener una estructura productiva igual o diferente a X pero basada en la apropiación de los medios de producción, y/o en la sustitución de los bienes u otro factor. El considerar la apropiación, y/o la sustitución puede generar grandes diferencias sociales y también fuertes diferencias al compararse con una estructura productiva concebida exclusivamente bajo un criterio tecnológico. Esta investigación no considera explícitamente la cuestión de la apropiación, ni los precios, ni las firmas. Mejor dicho, considera primero una relación técnica de producción como forma de concebir la estructura productiva ya que privilegia diversas situaciones que se pretende analizar las cuales estarían opacadas si se incluyeran problemas de apropiación y de precios. Estos últimos se retoman en un análisis posterior para no entorpecer el planteamiento original que radica en una consideración técnica primaria. El análisis, de hecho, aísla la cuestión de la apropiación, o los precios u otra, para concebir una estructura productiva, y en este sentido, analiza sus transformaciones de tal modo que al interrogar si la estructura productiva puede cambiar sin que cambien las relaciones técnicas de producción indaga sobre los factores determinantes de ésta. El énfasis desmesurado en lo técnico tiene por objetivo conocer los procesos, todavía en discusión, que toman parte en la determinación de los cambios tecnológicos.

El tema de la investigación es entonces desarrollar el concepto de estructura productiva con base en las relaciones técnicas entre las industrias. Las relaciones técnicas de producción están normadas por leyes físicas y tecnológicas (y económicas) que regulan lo que está en las empresas, o lo que se interpreta en una relación

tecnológica industrial. Las leyes que gobiernan la estructura productiva son la base para entender los principios y la forma de producir: el primero atañe a las leyes físicas y el segundo a la gestión de un proceso nuevo. Se podrían agregar las leyes económicas a las físicas y tecnológicas. Sin embargo, esto es un planteamiento nuevo muy poco analizado: poner algunos elementos del análisis económico al mismo nivel que la tecnología. También puede ser en el otro sentido. Hay muchos aspectos en común, y en muchos casos es más fácil realizar un análisis unificado que separado. Una buena razón de esto es que desde un punto de vista metodológico tal vez exista una mayor similitud entre la tecnología y la economía que entre ciencia y la tecnología, debido, tal vez a la evolución misma de la tecnología. Este tema se retomará al final ya que se sale del alcance de la investigación.

La estructura productiva no sólo es un conjunto de variables que determinan la actividad económica en un momento dado, sino que al mismo tiempo, implícitamente interpreta las transformaciones de la estructura productiva debidas a cambios tecnológicos. Una es imagen de la otra. No se puede estudiar la estructura productiva sin analizar los cambios tecnológicos porque con éstos se puede interpretar el crecimiento de las economías u otro estadio de desarrollo. Mediante los cambios en la estructura productiva se pueden comprender los procesos para entender los brotes de innovaciones en la actividad económica. Analizar la estructura productiva en esta forma tiene una doble ventaja. El aprovechamiento deriva en la concepción de árboles industriales en los cuales se reflejan en sentido estricto las leyes físicas (a veces no cabalmente conocidas) y los principios tecnológicos como elementos primarios para la producción. Los componentes del árbol industrial agrupados en un conjunto de procesos, equipos y, materiales (P,E,M), forman la estructura productiva de las economías; son los componentes iniciales de la economía real.

La hipótesis que se maneja es que a través de árboles industriales se puede concebir la estructura productiva, y a su vez, dado que el árbol industrial está formado por un grupo de P,E,M un cambio en estos implica un cambio en el árbol industrial. Sólo puede entenderse otro estadio de la estructura productiva mediante (primariamente) las transformaciones de sus P,E,M y éstos a su vez dependen de la lógica de cambio de las tecnologías. Así, las transformaciones de la estructura productiva en términos de P,E,M se entienden al conocer los cambios tecnológicos.

El modelo de árbol industrial tiene la peculiaridad de incorporar a la tecnología en sus propios términos y no a invitación de las categorías económicas como se acostumbra. Desde luego es restringido porque es tan solo una base primaria, pero sí trata de mostrar un aprovechamiento poderoso para entender la forma como avanza y se transforma la estructura productiva en periodos más largos en el futuro. ¿Cuál es la configuración del grupo de los P,E,M que mejor garantiza un proceso continuo como para complacer a los economistas empecinados en esta visión?. O, ¿de qué depende lo abrupto de las combinaciones de los P,E,M para conllevar situaciones de crecimiento y ruptura? ¿Son los procesos los determinantes, son el recambio de los equipos terminales los que generan un crecimiento discontinuo? ¿Son los nuevos materiales los potenciales para renovar las materias primas básicas y reordenar las actividades productivas y el empleo? ¿Son los nuevos servicios una forma de proceso, para entender la estructura productiva del futuro?. Las teorías formuladas por tanto los que enfatizan en el mercado como los que enfatizan en el proceso de acumulación no pueden responder con mayor precisión a estas preguntas.

La teoría económica se ha desarrollado no solo como consecuencia del crecimiento económico sino paralelo al mismo¹. Así la teoría económica no ha logrado proponer un modelo² donde este genere desde el principio estadios hipotéticos de desarrollo a la vez que sea capaz de diseñar políticas económicas viables para alcanzarlo. Algunas experiencias recientes (más ortodoxas en este sentido) son parciales ya que se limitan a un análisis de variables muy restringidas y todavía dominadas por una relativa confianza en el mercado que conlleva a situaciones que no siempre son las mejores³. Para muchos lo anterior puede comprenderse : a) ya que estas situaciones

¹ Desde luego que esto se refiere a como han cambiado las economías, como se han transformado y al mismo tiempo como se han vuelto más complejo su estudio ya que no solo se ha incrementado la producción sino también el número de agentes económicos que intervienen, al mismo tiempo de una cada vez mayor especialización en las actividades productivas.

² Me refiero a la planificación no tanto de variables globales sino de la estructura de la producción y el consumo delineando las actividades productivas como los procesos, equipos e insumos y su impacto en la distribución y en el empleo. Estos últimos (empleo y distribución) desde luego que los hay y prácticamente forman uno de los aspectos centrales de la teoría económica y como tales reflejan en última instancia el bienestar de la sociedad. Sin embargo es más difícil encontrar modelos de actividades productivas que predigan situaciones de bienestar. Por un lado se debe separar el modelo económico que nos ayuda a entender el problema económico y del cual se puede incluir escenarios y políticas económicas, como es el modelo de equilibrio general donde se analizan subóptimos eficientes y donde se formulen la política para encontrar mejores estados de bienestar. Inclusive de los estados de bienestar el concepto de equidad ha sido discutido dentro de lo que podrá ser una aportación de la ciencia económica. (ver por ejemplo Sen, 1979). Por otro lado están las economías que difieren entre países y regiones y que desde luego guardan similitud y distanciamiento al modelo general.

³ Del mercado no nos podemos safar y afortunada o desafortunadamente todavía no hay un sustituto. Las pruebas son inminentes y van desde el derrumbe de las economías exsocialistas hasta el análisis fino de las perversiones del mercado. El mercado ha existido con la teoría económica y con Adam Smith no solo se vio en el una forma de explicar fenómenos

tienen su razón de ser las cuales van del modelo mismo que se ve afectado por la precaria información que conlleva a no obtener las mejores decisiones, hasta encontrar soluciones no óptimas debido a problemas de internalizaciones de costos y beneficios e inclusive problemas intertemporales⁴. b) El problema de la información en los agentes económicos y entre países es latente. Las consecuencias son diversas ya que no se discrimina con diferentes situaciones óptimas en un mundo donde las decisiones de por sí son óptimas⁵. Es decir se rechaza situaciones irracionales. Esto podría tener como consecuencia que se obtengan subóptimos tan válidos como los óptimos eficientes. Esto desde luego repercute en las políticas de corte nacionalistas en contraste con aquellas que fomentan el libre comercio a nivel internacional. O dicho de otra manera porque una población de una determinada economía con gustos y preferencias bien establecidas de antaño tenga que aceptar un óptimo de otra economía también de antaño. Una alternativa que se tiene ante esta situación es incorporar en la teoría de la demanda los gustos y preferencias de los individuos aunque para otras economías aparezcan como fieles aberraciones a la racionalidad. En el fondo la decisión mejor del país mejor en términos económicos, es decir eficiente, implicaría el traslado e importación de valores culturales los cuales no pueden ser una imposición tácita a consumidores de otras economías. Así una forma de explicar la realidad es la existencia de óptimos eficientes tan buenos como otros óptimos eficientes de agentes económicos

económicos sino también una forma de apoyarse para hacer política económica. Hoy en día esto tampoco ha cambiado a pesar de las recientes controversias que se dan con la cuestión de la globalización y el comercio internacional y las repercusiones en el empleo y en la distribución. A pesar de que se ha analizado el papel del mercado mundial y los mercados competitivos (ver a Krugman, 1990) no cabe duda que se sigue discutiendo sobretodo para medir la mella que deja en los países. Son dos problemas que abrumen el entorno económico de mercado. Primero hay sectores económicos más completos o si se quiere con mayor información que facilitan soluciones más eficientes pero al mismo tiempo creando un abismo sobre el mercado en otros sectores y entre países. El problema en este caso es suponer una relativa racionalidad de decisiones entre diferentes países que resquebrajan una parte del sentido racional de las decisiones ya que no hay una racionalidad que nos diga que racionalidad es mejor que otra. Un segundo aspecto no es tanto desechar en teoría mejores equilibrios eficientes sino un problema de medición del efecto distributivo cuando se promueve un cambio estructural promovido por una optimización entre los agentes pero ajeno a una dinámica en las preferencias de la demanda. Tercero, el aspecto de las decisiones a futuro y el problema intertemporal visto con la óptica de mercado de corto plazo y que se agrava por el tono de los problemas de medio ambiente recientes.

⁴ Los mercados imperfectos y con esto las situaciones de información incompleta desde luego pueden analizarse con la teoría de juegos donde no necesariamente se tendría un equilibrio sino varios; pero aun así todavía se depende del mercado. Por otro lado el esfuerzo que se ha hecho por internalizar costos y beneficios ha sido importante no solo en los apovechamientos teóricos sino también empíricos. Sin embargo el problema más difícil de resolver es el intertemporal.

⁵ Un problema que resulta del análisis de las decisiones subóptimas es una transgresión de los postulados de la teoría ya que por una parte se acepta que los individuos toman decisiones con información incompleta y al mismo tiempo se desecha una problema de irracionalidad del individuo, pudiendo dar lugar a soluciones eficientes y óptimas (y únicas) las cuales pueden ser inexistentes. Sin embargo por otro lado se tiene la posibilidad de concebir varias soluciones aptas ya que indirectamente se evita la supuesta información incompleta mediante la aceptación de óptimos múltiples y que son tratados con la teoría de juegos.

de países o regiones distintas⁶. Sin embargo a pesar de las características y limitaciones de los modelos basados en el mercado difícilmente se tiene un mecanismo que lo sustituya. En muchos casos existen mercados mas eficientes que otros y esto hace que en unos las recomendaciones de la política sean mas efectivas que en otros. Las políticas y recomendaciones han optado por una nula y una moderada intervención gubernamental.

El aspecto central es que los cambios en el árbol industrial y en sus componentes (P,E,M) dependen de los cambios tecnológicos. Este par de conceptos (árbol industrial y cambios tecnológicos) forman la estructura productiva y son la base para explicar los movimientos en las industrias las cuales a su vez representan no sólo lo producido en forma de bienes y servicios, sino el empleo y desempleo estructural generados.

El tratamiento de los cambios tecnológicos se basa en concebir la influencia de los factores científicos, tecnológicos, económicos, institucionales y culturales como la fuerza que puede modificar un estadio inicial formado por un P,E,M primario (Rp). Mediante la determinación de un índice plural (IDETEIC) se evalúa la influencia de cada factor en el Rp para llegar a un Rp modificado (Rd). La diferencia de elementos del Rp y Rd viene a determinar la forma en que se modifica la estructura productiva y los factores que tomaron parte en esta transformación.

En el capítulo 3 aparece el análisis de la procedencia de los cambios tecnológicos como tema central. En la última década han proliferado investigaciones para conocer el papel de la tecnología en los procesos económicos. Esta temática forma parte de una discusión entre los que promulgan una teoría de los cambios tecnológicos y los que tienen una visión evolucionista. Desde una perspectiva puramente económica, y a pesar de la literatura existente el planteamiento de este trabajo conlleva a no rechazar la hipótesis de que las fuerzas que hacen emerger las innovaciones no solamente provienen de la demanda sino también de la oferta. Hasta aquí, todavía se está dentro del ámbito manejado por la economía. Sin embargo, a estas alturas de la discusión en que los elementos de análisis estrictamente económicos pasan por una situación realmente desesperada, este planteamiento puede sonar obstinado y además radical. Sin embargo a pesar de lo anterior, y en aras de una defensa de un

⁶ Esta discusión desde luego no puede quedarse aquí como tampoco se quedó el racionalismo del siglo XVII frente a los dogmas de la religión. Sin embargo este trabajo no pretende incursionar en esta parte de la teoría económica que tiene su relación con valores, decisiones publicas y bienestar.

planteamiento económico más estricto, sí permite la flexibilidad que requiere un árbol industrial ya que se adapta a las fuerzas de demanda y/o de oferta, u otras.

Otra forma de ver la procedencia de los cambios tecnológicos es a través de una visión evolucionista. Se ha dado mucha discusión sobre el papel de las fuerzas de la demanda y de la oferta. Otros intentos de analizar la procedencia, a pesar de acudir a otros factores no económicos, se han acomodado a los ya establecidos por la ciencia económica. Muchos factores que son independientes del proceso económico y que pueden estar en el seno de las ciencias o de la ingenierías u otras, pueden caer bajo el concepto de la oferta en términos económicos. Los procesos que toman parte en el desarrollo de un producto o su modificación, pueden descansar en el análisis de las rutinas, la diversidad, la necesidad; se pueden reagrupar por el lado de la oferta. Esto promueve la confusión ya que para aterrizar un problema económico se mete por el lado de la oferta. En un tratamiento evolucionista inclusive algunos de los elementos que se consideran como la base de la evolución, se pueden ubicar en el lado de la oferta. De tal forma que a veces el estudio resulta muy difícil sin la separación de los conceptos de fuerzas de la demanda y fuerzas de la oferta.

Lo anterior es una forma diferente de representar un cúmulo de cambios tecnológicos. En las explicaciones evolucionistas el problema se ha ubicado por el lado de las variables de régimen, trayectorias, trayectorias naturales, con la intención de explicar el patrón que sigue un determinado grupo de innovaciones. Lo que hay dentro de las variables de régimen y las trayectorias se puede basar en la vigencia de los paradigmas. El enfoque evolucionista ha generado las concepciones de trayectorias pero al mismo tiempo, se ha sesgado por la influencia de la evolución en la biología y se han incorporado paradigmas al proceso productivo con menor relación que otros que podrían estar. En el caso que se discute en el capítulo 5 en relación a concebir un árbol industrial de turbinas se trata de separar este problema y de guardar los determinantes en la trayectoria tecnológica en forma imparcial y con las mismas oportunidades de ser representadas. Es decir, no se prefiere una fuerza u otra. En todo caso si llegara a ocurrir se debe a problemas de información.

En la cuestión del agrupamiento de las innovaciones se hace énfasis en un aspecto también central ya que no sólo se considera un criterio que mida la magnitud de la innovación sino que también se toma en cuenta otra forma de analizar la procedencia ya que puede venir de una base científica, tecnológica, económica,

institucional o cultural. Este agrupamiento es el resultado de rechazar concepciones ambiguas, excesivas y de fácil acceso al describir una peregrina rigidez por fuerzas exclusivas de la demanda y por fuerzas exclusivas de la oferta. Mucha de la discusión se ha concentrado en conocer si las innovaciones provienen de una u otra fuerza las cuales a su vez están asociadas al mercado y a muchos otros aspectos desde la intervención gubernamental hasta la creatividad del científico⁷.

El agrupamiento de innovaciones considera las innovaciones sin tener directamente presente la noción del mercado y al mismo tiempo permite que se diferencie entre una innovación radical y una incremental. En otras palabras, tampoco rechaza la hipótesis de que sólo las innovaciones radicales provienen de los cambios científicos y en cambio sí pueden provenir de una base tecnológica o ingenieril y del mercado.

Pero a pesar de que se concibe otra forma de agrupar a las innovaciones, y con esto otras fuentes interdependientes para promoverlas y explotarla económicamente, tampoco se rechaza la hipótesis de que todas las innovaciones además de pasar por la bendición de la tecnología, otras en menor grado pasan después de todo por la bendición del mercado.

Un tercer planteamiento proviene de la misma discusión entre las fuerzas que hacen emerger las innovaciones y la estructura productiva bajo el modelo del árbol industrial para entender la cuestión del crecimiento. La hipótesis que se maneja es que se puede interpretar el crecimiento como un cambio en la estructura productiva, es decir, un cambio en los componentes del árbol industrial y que éstos se pueden interpretar para explicar los ciclos de largo plazo. Este planteamiento de hecho prosigue con la idea de que existe una gran relación entre la duración y sintonía del ciclo largo con el carácter de los cambios tecnológicos y los cambios en la estructura productiva. Este es un tema que de hecho se introduce desde el principio pues en gran medida ha promovido el estudio más profundo de los cambios tecnológicos pero que solamente se

⁷ En parte ha resultado este tipo de análisis porque en la tradición economista así se le ha aprovechado y porque las herramientas para este tipo de análisis fueron una herencia de las discusiones económicas acerca de explicar todo a través de los precios y el equilibrio frente a otros factores donde el precio solamente es uno entre muchos y donde se da preferencia a la cuestión de acumulación y la evolución. Es decir, el análisis ha seguido el desarrollo de la misma teoría económica en otras áreas donde se han ganado y perdido batallas. Como consecuencia se ha dado una distorsión y una miopía ya que conllevaba muchas implicaciones de método que hacen más difícil analizar otras fuentes y otras causas que explican las innovaciones y su relación con el sistema productivo. Sin embargo si bien la misma cuestión del mercado puede crear ambigüedades estas no son mayores que las que crea una separación entre demanda y oferta. La primera es mas directa ya que contempla los gustos y preferencias de los demandantes mientras que la segunda no puede al final de cuentas separarse de una concepción del mercado, o en todo caso habría que generar otras concepciones de mercado. Si el mercado es el lugar de conjunción entre demandantes y oferentes, este último se está relaciona con la demanda y es así como se genera parte de la ambigüedad

Introducción

pretende plantear para que se reconozca el carácter dinámico y de largo plazo de los cambios tecnológicos. Al mismo tiempo que se analiza los ciclos de largo plazo se introduce la cuestión del crecimiento y la productividad como aspectos iniciales para analizar el papel de la tecnología. La relación que guarda con el tema de la estructura productiva y los cambios tecnológicos es como antecedente en el sentido de que la productividad lograda y el crecimiento de las economías si bien no han fomentado un crecimiento como el que se esperaba, sí han aumentado el desempleo y la mala distribución.

La investigación está organizada en tres secciones. La primera sección hace una revisión de la literatura existente. En forma introductoria en el capítulo 2 se hace una revisión de los antecedentes de la teoría de los cambios tecnológicos enfatizando en la teoría del crecimiento, los aprovechamientos de los modelos que analizan el cambio en la productividad como factor determinante en el crecimiento, la relación con los planteamientos de los ciclos de largo plazo y la necesidad de analizar la estructura industrial como base para evaluar la productividad y el crecimiento. Este capítulo tiene como objetivo resaltar el papel de las innovaciones en el crecimiento basado en estudios de caso y analizar las causas del incremento en la productividad en países posindustrializados y en proceso de industrialización.

En el capítulo 3 se analiza la literatura sobre los cambios tecnológicos poniendo énfasis en los enfoques y visiones de diferentes grupos académicos. Tiene como objetivo evaluar la procedencia de los cambios tecnológicos mediante el análisis de la literatura que se ha dado en las últimas décadas. El análisis está dividido en una parte que discute el cambio tecnológico en la teoría económica y que revisa no sólo los cuestionamientos más importantes en torno a la firma y las industrias sino que también discute la cuestión de los costos de transacción en la perspectiva de los cambios tecnológicos. En esta parte también se analizan diferentes estudios sobre las relaciones entre el tamaño de los mercados y las empresas así como el grado de competencia y su relación con el fomento de las innovaciones. Otros aspectos que se discuten también en esta parte son el tema de la utilización de las innovaciones y el proceso de difusión. De hecho también se puede entender el objetivo de esta investigación bajo esta perspectiva: es decir, en que forma se trasladan los cambios tecnológicos en las industrias, en qué sectores e industrias es más intensa la difusión, a qué tasa, qué alcance, qué impactos, qué distribución logran.

Un segundo apartado de este mismo capítulo 3 analiza las fuentes de los cambios y las trayectorias tecnológicas. En esta parte, además de llegar a una agrupación de innovaciones basada en los estudios de diferentes autores, se discute la cuestión de las avenidas y las trayectorias tecnológicas y los rompimientos de éstas. Este capítulo es de hecho un capítulo fundamental de la investigación ya que también discute la medición de las innovaciones y la construcción de índices, dadas las fallas y limitaciones de las medidas utilizadas normalmente como lo invertido en I y D y en patentes. El análisis de los índices cobra relevancia no sólo porque incorpora variables con una base científica sino también económica, institucional y cultural con el objetivo de no rechazar la hipótesis de que las fuentes de una innovación no proceden exclusivamente del mercado. Sin embargo, el análisis de los índices también se discute en el siguiente capítulo.

Los capítulos 4, 5 y 6, los productos de la investigación forman la segunda sección. En el capítulo 4 se desarrolla un modelo de árbol industrial y se analiza la relación entre la estructura productiva y los cambios tecnológicos mediante un árbol industrial primario (R_p), un índice IDETEIC (Y), y un árbol industrial dinámico (R_d). El objetivo de este capítulo es la construcción de un modelo concebido a partir de una estructura productiva con base en relaciones técnicas de producción mediante un grupo de P,E,M. Este capítulo es central para entender las diferencias entre cadenas productivas y árbol industrial. Se va mas a fondo al tratar de analizar los aspectos intraproductivos que se llevan al interior de una empresa y que son los mismos que a nivel de una industria. Es decir analiza la producción mediante un rompimiento en ella misma a diferencia de considerar las transformaciones del producto mediante agregando mas valor agregado. En otras palabras hace un análisis mas profundo de la producción que sirve mas que alejarse del enfoque de los enlaces productivos los complementa ya que va al análisis celular de la producción.

El capítulo 5 tiene un doble objetivo. Por un lado, hacer una aplicación del árbol industrial e interpretar los cambios en la estructura productiva mediante cambios tecnológicos y sus repercusiones en el sector y en la actividad económica. Por otro lado, analizar la industria hidroenergética mediante la producción de turbinas y su vínculo con la metal mecánica. Este capítulo, junto con el 4, son de hecho los más originales. Implica un análisis de la información que demanda el árbol industrial y el índice IDETEIC, el diseño y el análisis de las variables del índice IDETEIC para interpretar la

Introducción

parte dinámica del árbol industrial primario (Rp): el paso de Rp a Rd tomando como base la producción de turbinas desde el siglo actual e involucrando variables tecnológicas, económicas y culturales en los procesos, equipos y materiales. El capítulo rinde frutos para interpretar la consistencia del mismo árbol industrial y de la industria metal mecánica.

Al final, en el capítulo 6 se evalúan los resultados de la aplicación, del modelo y de los planteamientos teóricos presentados en los capítulos 2 y 3. Este capítulo no sólo pretende presentar las bondades y limitaciones de un árbol industrial como un aprovechamiento para entender los cambios estructurales comandados por los cambios tecnológicos teniendo como escenario la producción de turbinas y su vinculo con la metal mecánica, sino que además hace hincapié en el concepto de árbol industrial como un instrumento para analizar los efectos en toda la economía no sólo de las transformaciones de los equipos sino dando cabida a las transformaciones de los procesos e interpretando de esta manera lo que se han llamado revoluciones tecnológicas y sus repercusiones en la estructura productiva. Desde luego que en el modelo hay ausentes, y ausentes de gran talla de acuerdo con las categorías económicas. No se incorpora el dinero ya que el modelo que se plantea primero trata de comprobar la existencia de una estructura productiva a través de un grupo de P,E,M. Sin embargo, el modelo tiene la capacidad de generalizar ya que no deja de socorrer a este tipo de variables que estarían bien ubicadas en un cambio en los procesos principalmente.

Juan J. Jardón U.

Sección I

Marco teórico de la estructura productiva y los cambios tecnológicos

En esta sección se analizan primero las causas del crecimiento de las economías y el papel que han jugado los cambios tecnológicos y su relación con los ciclos de largo plazo. El capítulo 2 termina con una discusión sobre los resultados de obtener un crecimiento pobre, una distribución mala y un desempleo creciente. Se enfatiza que el crecimiento analizado por la productividad y la ciclicidad puede ser productos de los cambios tecnológico donde a nivel agregado no se reflejan las transformaciones de las economías ya que no se analiza como se transforman las industrias. Esto hace que se tenga que hacer un análisis estructural más profundo de la economía basado en las transformaciones de las industrias.

El papel que juegan los cambios tecnológicos en dichas transformaciones de la estructura productiva es fundamental. Por esta razón el capítulo 3 se aboca a analizar la procedencia de los cambios tecnológicos en tres partes. Una bajo el tratamiento que le ha dado la teoría económica a la ubicación de la tecnología en las discusiones contemporáneas sobre costos de transacción y bienes públicos. Otra, la interpretación de las fuerzas de emergencia de las innovaciones, bajo el enfoque evolucionista de las trayectorias y los agrupamientos. La tercera dedicada a la medición y en especial a los índices tecnométricos.

14

Antecedentes: crecimiento, ciclos y estructura productiva

En esta parte se analizan algunas cuestiones globales de la economía mundial y la incertidumbre de una desgastada política económica frente a una crisis en parte producida por cambios tecnológicos. Las limitaciones de la ciencia económica pueden ser un obstáculo para responder al estancamiento de las economías y para explicarlo si no encaran nuevas y mas sofisticadas herramientas para predecir los efectos de los cambios tecnológicos en la estructuras de las economías. Por esta razón, se analiza la forma de crecimiento de las economías y la productividad no solo para conocer las tendencias, su periodicidad sino también las explicaciones que se dan para explicar y descifrar la existencia de los ciclos largos y la exogeneidad de la tecnología. En el fondo, las vicisitudes del crecimiento de la economía mundial, la existencia de los ciclos largos, se explican por cambios tecnológicos en las relaciones de producción. Mientras no se maneje y conozca el papel de las tecnologías y los cambios que producen en la actividad productiva, es probable que la política económica de manejo controlable de la demanda no pueda mantener el crecimiento y empleo a la par y sí retardando el ajuste y fomentando la distribución insana dados los ajustes tan severos para fomentar y acelerar los cambios tecnológicos.

Se examina primero el crecimiento diferenciado entre países y se relaciona con las discusiones del ciclo largo analizando los retardos en el crecimiento del producto. Los planteamientos están unidos por los paradigmas de la teoría del crecimiento. Aunque de entrada no se hace referencia a un enfoque de acumulación, este está implícito en la discusión del ciclo largo, y en las argumentaciones acerca de los cambios tecnológicos como se verá más adelante (capítulo 3). Se aborda el tema mediante el análisis del incremento en la productividad por estar muy cerca de la discusión reciente sobre los cambios tecnológicos. Además, muchos estudios se basan en la medición y explicación de los cambios en la

productividad y estos a su vez se ligan potencialmente a los cambios tecnológicos que afectan a la productividad¹.

En este capítulo se describe tan solo el crecimiento de la productividad indicando la parte que corresponde a la reproducción del trabajo y el capital, y la que se explica por los cambios tecnológicos². Para el análisis de la productividad se retoman casos de países industrializados, principalmente los Estados Unidos de América y de países en proceso de industrialización, como México. El análisis de los primeros se da en un contexto mas abundante. Sin embargo, no obstante las interrogantes sobre la medición, ha existido consenso en explicar el crecimiento del producto por los cambios tecnológicos. Las diferencias estriban en la precisión de las aportaciones: en cuánto contribuyó, contribuye y contribuirá al crecimiento de la productividad. En los segundos, se analiza tanto la situación de los países en proceso de industrialización, a diferencia de los industrializados, así como las causas del crecimiento de la economía mexicana después de la década de los cuarenta. Se cuestiona el aporte real de los cambios tecnológicos al crecimiento del producto, y además se discute el significado de las nuevas tecnologías en los países en desarrollo frente a los industrializados³.

Posteriormente dentro de este mismo capítulo se enfatiza en la necesidad de un enfoque que trascienda el ámbito global y se inmersa en un análisis estructural para entender los equivalentes del crecimiento, de la productividad, de la ciclicidad del producto en una estructura productiva que refleje mejor las distorsiones y las concentraciones en la distribución sectorial del empleo, y la lógica de las transformaciones industriales resumidas macroeconómicamente y desglosadas por sectores e industrias.

¹ Hasta aquí puede ser que las diferencias entre los enfoques de acumulación y factorial no sean tan importantes para nuestros intereses y objetivos, pero lo que aparece como crucial es en qué medida la productividad explica el crecimiento, y qué tanto los cambios tecnológicos explican la productividad. De hecho, la investigación se centra en esta última explicación sin dejar de reconocer la primera. Es decir, se da por descontada la primera y se pasa a discutir la explicación de los cambios tecnológicos, donde de por sí radican las diferencias de fondo entre ambas escuelas.

² El análisis puede quedar inconcluso en la medida en que las mediciones no satisfacen un análisis riguroso y, en todo caso, lo que se indica es el estado de la discusión. Así, del residuo inexplicable se pasa a lo inverido en I y D dejando por supuestas muchas interrogantes que van desde la forma de medición hasta dejar interrumpida la teoría del crecimiento mediante los factores.

³ Los estudios que se revisan no son extensivos sino ilustrativos, dejando latentes inquietudes en torno al papel de la tecnología y el incremento de la productividad. Además quedan varias interrogantes que van desde mirar al crecimiento como prototipo de los industrializados y las formas de transformación de las economías, hasta el afán de reconvertirlo para que incluya el significado real del cambio estructural.

I Evidencias del crecimiento y la productividad

1. Algunas consecuencias de la productividad

Una cuestión que ha preocupado a los economistas y que ha sido fuente de diferencias es cómo se incorpora el incremento en la productividad, y las causas que explican la productividad en la teoría del crecimiento. Tradicionalmente se enseña que, en general, los cambios en la productividad son benéficos, y que en todo caso afectan más a ciertos países que cuentan con una mayor fuerza de trabajo, pues en general se considera que implícitamente existe un desplazamiento de mano de obra a pesar de que puede variar de sector a sector, de país a país y de época a época.

Se puede decir que la ciencia económica se desarrollado conforme han ido creciendo las economías y que cuando crece la productividad prospera su entendimiento. Es decir que conoce los efectos bajo diferentes condiciones:

- i) Reconoce en principio cambios en la productividad en general y cambios diferenciales por sector. Lo primero explica adónde se traslada esa productividad. Lo segundo afecta la estructura de precios y tiene un impacto sobre la distribución.
- ii) El incremento en la productividad se puede trasladar a mayores ingresos o afectar el consumo a través de precios bajos. En ambos se logra un beneficio, pero no en ambos se logra una distribución mayor. En el caso del aumento de ingresos, se reconoce que se puede incrementar el bienestar de la población al elevar el ingreso pero en caso de afectar el consumo, puede suceder lo mismo: una baja de precios y un incremento del consumo⁴.
- iii) Los cambios en el diferencial de la productividad por industria afectan la composición del producto nacional bruto y el empleo.
- iv) Las diferencias en la productividad a nivel internacional crean diferencias en el ingreso per capita y afectan el poder de compra de las monedas.

⁴ Con lo cual se diversifica y afecta más el crecimiento de la economía. En muchas economías el incremento de la productividad expresa un nivel de bienestar al aumentar el ingreso real per capita. En países como los Estados Unidos, el crecimiento experimentado durante medio siglo después de la primera guerra mundial y los incrementos de los factores de la producción han ido paralelos al crecimiento de la población. En consecuencia, todo el incremento en ingreso y producto real per capita se ha debido a un incremento en la productividad de más de 2% por año (Kendrick, 1977).

- v) En algunos casos el incremento de la productividad relaja las presiones inflacionarias.
- vi) El incremento en la productividad puede directamente acelerar el crecimiento y postergar el consumo facilitado por la productividad con el objeto de lograr beneficios en el futuro. Sin embargo, en el corto plazo se requiere de un mayor consumo a través de precios para crecer.

2. Los países industrializados

De acuerdo con la información recogida y analizada por Kendrick (1977), el producto nacional por año en términos reales se ha incrementado considerablemente en la segunda mitad de este siglo. Como se puede observar en el cuadro A2-1, en todos los países que se presentan existe un incremento en la tendencia a partir de los años cincuenta reflejado en la diferencia entre el crecimiento del producto nacional durante la segunda parte del siglo XIX y más de la mitad del XX. En este gran periodo, los Estados Unidos prácticamente dominan el alto crecimiento. Japón experimenta una mayor tasa de crecimiento, pero es de suponerse que es reflejo de su actividad en este siglo. De 1950 a 1959, cambia el crecimiento del producto nacional dejándose de observar el dinamismo de la economía norteamericana y sobresaliendo las economías de Japón, Italia, Alemania, y Francia. Posterior a 1959, el análisis se hace con las tasas de crecimiento de la producción por hora en la manufactura. Aparte de evidenciarse un incremento de la tasa con respecto al periodo anterior, se observa claramente que el dinamismo pasa a países como Japón, Suecia, Bélgica, e Italia, mientras que la economía norteamericana no experimenta cambios substanciales con respecto al periodo anterior y sí pierde importancia a nivel internacional. Las explicaciones de estas tendencias van desde el apoyo a las economías devastadas por la segunda guerra mundial mediante grandes inversiones y la severidad de la reducción del consumo de la posguerra, y la utilización y adaptación de mejores tecnologías para producir, hasta la incorporación de mano de obra en la industria con mayor valor agregado.

¿Adónde se traslada el incremento de esta productividad? El cuadro A2-2 muestra información acerca del incremento en la producción por trabajador el cual se asocia tanto a mayores niveles de ingreso de los trabajadores a nivel global como a incrementos en los costos de la mano de obra. Las mayores proporciones de ganancias corresponden a los países que experimentaron una mayor producción por hora en el periodo 1970-75, y

también los que menos productividad experimentaron, como los Estados Unidos con un menor nivel de ingresos e incrementos menores en los costos de trabajo. Las devaluaciones del dólar frente a la moneda local representan los incrementos en los costos de trabajo en dólares.

En la economía de los Estados Unidos se puede observar que el crecimiento del producto se explica cuando mucho por dos tercios del crecimiento de los factores y que de éstos el capital es el que más fluctuaciones tiene. El cuadro A2-3 muestra esta situación al observarse las tasas anuales de crecimiento del producto y de las razones de productividad. En el se ven cuatro periodos donde el crecimiento del producto mantiene tasas por arriba del 3% a excepción del periodo 1919-48 que refleja el impacto de la gran depresión. De acuerdo con la información, el crecimiento del producto se ve menos influenciado factorialmente en el periodo 1889-1919, manteniendo una tasa cercana a 2% en los demás periodos. Se observa también que el mayor dinamismo está dado en el periodo 1948-69 el cual es reflejo de fuertes variaciones en inversión en capital registradas en periodos anteriores (1919-1948) pues cambios en el capital representan también cambios en la sustitución de mano de obra (mayor dinamismo) y cambios en el capital mismo.

A nivel sectorial (cuadro A2-4), se observa que el crecimiento de la productividad más importante en los tres periodos considerados (1889-1969) se da en la industria con una tendencia ascendente. Sin embargo, en el último periodo (1948-69), la agricultura muestra un dinamismo inesperado alcanzando un crecimiento del 5.8% el cual indudablemente es reflejo de una reducción del empleo y técnicas intensivas en capital. Por último, no se experimenta ningún cambio substancial en la productividad en el sector servicios.

Después del análisis de Solow (1957) de la economía de los Estados Unidos, son más los interesados en preguntarse por el significado de la productividad y sus causas. En general, son muchos los factores que determinan un incremento en la productividad: la educación, la salud, la seguridad, las economías de escala reales y pecuniarias, factores sociales e institucionales, etc. Sin embargo, se acepta que la creación de mayores cambios tecnológicos y las innovaciones son factores determinantes para elevar el producto y restaurar el crecimiento. De hecho, en su análisis basado en un factor residual que mide la proporción del incremento del producto, debido a otras causas excepto el capital por hombre, en el periodo de 1909-49, Solow encuentra que el 87.5% del crecimiento de la

producción por hombre se debe, entre otras razones, a un cambio técnico (residuo), mientras que el resto se explica por el capital ⁵.

Las consecuencias de la investigación y los resultados, independientemente de las limitaciones del método utilizado, dejan claro la contribución de la tecnología al incremento de la productividad. Al mismo tiempo, proliferaron los estudios para medir la productividad e incluso en muchas partes se formaron, y se siguen formando, centros para medirla. Como resultado, se tiene el método de productividad global basado en las ponderaciones e índices de los factores de la producción. Este método ha presentado muchas limitaciones ⁶ debido a que reduce la relación de los factores a simples sumas aritméticas, y además no considera las discontinuidades en la producción (los ciclos), ni los problemas para medir el capital en el tiempo. No obstante esto, se han hecho algunos intentos por mostrar cierta supremacía del progreso técnico en la teoría del crecimiento. No se puede eliminar la importancia del progreso técnico, en todo caso pudiera estar a discusión la aportación al crecimiento. En el cuadro de abajo se muestra esta comparación de algunos países industrializados.

La mayoría de los análisis que proliferaron después del de Solow se basan en la función neoclásica de la producción y en el significado de los movimientos tanto a lo largo de la curva como en el cambio de la misma y su relación con el concepto de progreso técnico. La discusión se centra no solamente en la veracidad de la información para medir los incrementos en la productividad sino también en la concepción de los factores, y su sustitución. Hoy en día estos problemas para algunos siguen sin resolver y para otros los remedios van en la composición de modelos mas complejos pero difíciles de aplicar⁷. Sin embargo, a pesar del auge que tuvo este tipo de investigaciones y a pesar de una especie de pedantería por no reconocer ciertos problemas de medición, hoy se puede concluir que si bien no hubo un total acuerdo en la medición de las proporciones tanto por el lado de los factores como de la tecnología, los análisis han pasado a aceptar de hecho la importancia de los cambios tecnológicos y, en todo caso, de medir su influencia en el crecimiento ⁸.

⁵ Otros autores encuentran cifras parecidas al alargar los períodos. Los resultados de Solow son exagerados. Subestima la contribución del capital en cierto tipo de inversiones en planta y equipo, y, por lo tanto, debido a esto sobrestima la contribución de la tecnología ya que no hay forma de saber si una buena proporción (15%) se deba a la tecnología o al capital. En todo caso, tendría que ir juntos.

⁶ Ver Rothwell y Zegveld, 1982.

⁷ Véase los modelos Vintaje como un ejemplo de los intentos neoclásicos para superar este tipo de problemas. Blitzer, (1973) Jorgenson y Landau (1989)

⁸ Nelson y Winter (1977, 1982) revisan la enorme literatura acerca del crecimiento de la productividad y los factores dentro del esquema de la función de producción.

Cuadro 2-5
Contribuciones al crecimiento del Producto Interno Bruto 1949-59
(tasas anuales de crecimiento)

| País | Trabajo | Capital | Progreso Técnico | Total |
|------------------|---------|---------|------------------|-------|
| Reino Unido | 0.4 | 0.9 | 1.1 | 2.4 |
| Suecia | 0.3 | 0.6 | 2.5 | 3.4 |
| Francia | 0.1 | 1.0 | 3.4 | 4.5 |
| Italia | 0.8 | 1.0 | 4.1 | 5.9 |
| Alemania (50-59) | 1.1 | 1.8 | 4.5 | 7.4 |
| Japón (52-58) | 1.7 | 3.2 | 3.0 | 7.9 |

Fuente: citado por Rothwell y Zegveld (1982).

La cuestión del residuo inexplicable ha sido discutida a la luz de los paradigmas neoclásicos. Romer (1986, 1990, 1994), hace referencia a la explicación de lo no explicable mediante el enfoque endógeno. Es decir los cambios tecnológicos no obedecen a causas exógenas sino son consecuencia del mismo proceso económico. La diferencia con el aprovechamiento de Solow parte de concebir una acumulación del conocimiento en el capital humano e incorpora este capital en la función de producción.⁹ El análisis de crecimiento endógeno parte de dos discusiones. La primera el análisis de rivalidad y exclusividad de la producción de conocimiento. En segundo la incorporación del conocimiento como capital al esquema de la función de producción como otro factor para determinar la teoría del crecimiento mediante lo que equivaldría a un residuo explicable. La primera es una discusión que se trata en el siguiente capítulo bajo costos de transacción pero que en si guardan diferencias entre diferentes tipos de tratamiento, en especial la que le da Lucas (1988) como bienes no rivales y no exclusivos y la que le da Romer (1990) al concebir una exclusividad parcial ya que diferencia entre la creciente productividad marginal del conocimiento y los rendimientos decrecientes de la inversión en investigación.

⁹ Ver en especial el trabajo publicado en 1986 Para una revisión de la discusión de crecimiento endógeno ver Grosman y Helpman (1994), Solow (1994).

La segunda cae dentro del clásico esquema de automaticidad en la selección de la tecnología no tan diferente a la apreciación de la tecnología como exógena dado el nivel de agregación del modelo y del factor capital humano.

Sin embargo lo que se le ha llamado la teoría posneoclásica de crecimiento endógeno no se inició recientemente y tiene sus orígenes en la inconformidad de asumir la tecnología como algo independiente al proceso económico. Originalmente este planteamiento se basa en la cuestión del *learning by doing* adoptada por Arrow (1962) donde el factor de conocimiento puede en sí mismo ser un factor que depende de inversiones anteriores y que tiene cruciales diferencias con el modelo tradicional de Solow ya que al incorporar el conocimiento este desemboca en rendimientos crecientes. Prácticamente una de las diferencias con el modelo de Romer es que mientras que en el planteamiento de *learning by doing* el capital humano rinde una productividad marginal decreciente en el de Romer exhibe una creciente productividad marginal.

El crecimiento endógeno del largo plazo tiene una importancia crucial para el crecimiento del ingreso percapita de largo plazo ya que afecta la política económica y el papel que se le asigna a través de impuestos y subsidios para afectar las decisiones de aumentar las inversiones. Aunque no se intenta discutir la teoría del crecimiento si se intenta destacar el papel endógeno del conocimiento y en consecuencia los cambios tecnológicos tratados como producto del proceso económico. A la par de que las posturas de la teoría del crecimiento hoy son tema de debate conviene destacar las siguientes apreciaciones en torno a la endogeneidad de los cambios tecnológicos¹⁰. Primeramente debe valorarse la pertinencia de asumir a la tecnología como intermedia en el proceso económico. Si bien la postura tradicional de considerarla exógena facilitó el problema de concebir una teoría del crecimiento hoy no se puede sostener más, esto no quiere decir que todo el conocimiento provenga del proceso económico. Existen obstáculos para que se considere totalmente endógena. Hasta ahora y con todo el bagaje de conocimiento de la teoría de los cambios tecnológicos que se ha mencionado en este capítulo y en los sucesivos no parece adecuada la apreciación de no concebir que el conocimiento no provenga por

¹⁰ Para muchos la teoría endógena de crecimiento ha sido producto de dos salidas: por una parte la nueva teoría Keynesiana y por la otra el descubrimiento de los teóricos de la macroeconomía por atender cuestiones tales como la génesis de los cambios tecnológicos. En verdad este último aspecto ya recorrido por los teóricos de los cambios tecnológicos (como se discute en el siguiente capítulo) ha servido de base para entender lo que ha sido y se explora como la caja negra de tecnología. Dentro de la teoría del crecimiento endógeno se han publicado varios trabajos como el de Romer (1986, 1990, 1994), Lucas (1988), Mankiw (1992), Shaw (1992) Barro y Sala-i-Martin (1994), Abramovitz (1996), Crafts (1996) entre otros.

causas externas al proceso productivo¹¹. Omitir que no exista una mezcla entre endógeno y exógeno es tan grave como refugiarse en una sola¹². Segundo como lo apunta Crafts (1996) no se puede asegurar la eventualidad de entrar en rendimientos decrecientes. Si bien esto pudiera ser una consecuencia de la argumentación anterior si tiene severas implicaciones para la teoría del crecimiento y sobretodo para la cuestión de la convergencia. Un tercer aspecto tiene que ver con la automaticidad del proceso endógeno similar a la automaticidad del proceso exógeno; simplemente la diferencia de plantear en el modelo la incorporación de innovaciones al proceso productivo en un caso u otro no es muy fuerte. Esto desde luego tiene que ver con el carácter neoclásico del tratamiento del cambio tecnológico discutido por la corriente evolucionista.

Otros numerosos estudios se han enfocado en la forma de medición de los cambios tecnológicos y las innovaciones a través de los gastos en I y D, las patentes, la balanza de pagos, y su análisis sectorial e intrafirma. De acuerdo con Rothwell y Zegveld (1982), el impacto del gasto en I y D en el crecimiento del producto ha variado a partir de los años sesenta. Si bien existe una buena correlación entre los gastos en I y D hechos por las industrias y el producto interno bruto para la economía norteamericana, no se puede generalizar a otros países, ni siquiera después de la década de los sesenta. Por un lado, existen pruebas de que los mayores crecimientos del producto y del empleo de algunos países industrializados no necesariamente se asocian a gastos en I y D y sí son mayores cuando disminuye el gasto en este rubro. Por otro lado, los gastos en I y D tienen efectos diferentes cuando son reflejo de innovaciones en los mejores métodos de organización que sí implican equipos nuevos (0.1% contra 0.7%). El efecto de invertir en I y D ha variado del periodo de 1959-68 al de 1969-77, este último con un efecto casi nulo.

Otros análisis se han concentrado en encontrar relaciones importantes al estudiar patentes y mercados internacionales por sector e industrias que muestren fuertes asociaciones entre los incrementos en la productividad y la competencia. En este aspecto Kamien y Schwartz (1982) han encontrado que: en el proceso de identificar y cuantificar las entradas (insumos) y las salidas existen rendimientos decrecientes, constantes o

¹¹ Esto equivale a diferenciar entre la inversión en educación y en entrenamiento, pero sobre todo equivale a esperar un ambiente prometedor indefinido de cambios tecnológicos lo que es totalmente opuesto a las evidencias de que las innovaciones vienen en bloque. Ver a Freeman, Rosenberg por ejemplo.

¹² Tampoco se puede permitir que el modelo dado el nivel de agregación no permita una hibridación. Esto es porque es indiscutible que en algunas industrias el carácter tecnológico podrá ser endógeno en uno y exógeno en otro, podrá dominar en algún sector de punta, y podrá estar más determinado por efectos distributivos que otros. Puede ser que la misma política económica de aumentar las inversiones en investigación promueva aquellas industrias que generen más empleo y discrimine proyectos tecnológicos poco distributivos y el efecto en esto repercute en el carácter exógeno o endógeno de los cambios tecnológicos.

crecientes; que en un proyecto de innovación el tamaño de la empresa incide en el problema; y que la forma que adquiere el mercado ante los cambios tecnológicos, su retroalimentación en el proceso, así como el carácter de la intervención del Estado en las empresas y las políticas de subsidios son factores que retardan o aceleran las innovaciones. Desde luego que estas apreciaciones son parte del legado Shumpeteriano sobretudo al referirse a la importancia del tamaño de las firmas y los mercados para fomentar las innovaciones. Sin embargo lo que se ha visto a través de varias contribuciones es que por un lado se ha avanzado al incorporar la actividad innovadora al esquema de análisis de la teoría microeconomía pero ya desde una perspectiva industrial. Por otro, de los mercados y el tamaño de las firmas se ha pasado a analizar la importancia de la demanda, las oportunidades tecnológicas y las condiciones de apropiabilidad.¹³ Estos aspecto se retoman en el siguiente capítulo.

La complejidad que encierran los cambios en la productividad ha hecho que, hasta ahora, muchos investigadores se sumen a la tarea. Quizás hoy en día los móviles de la investigación se centran más en explicar los cambios tecnológicos como componentes básicos de la productividad. El debate ha ido desde analizar: i) ¿Hasta dónde contribuye la investigación básica, bajo la forma de avances científicos, a las innovaciones tecnológicas? ¿Acaso la ciencia es un prerrequisito para el progreso tecnológico? ii) A nivel de la empresa, ¿cuál es la interacción entre los centros de investigación y la empresa? iii) ¿Cómo es el proceso de los inventos y las innovaciones? iv) ¿Cómo y en qué medida el mercado actúa sobre la tasa y la dirección de los cambios tecnológicos? v) ¿Cuál es la estructura de mercado que favorece los cambios tecnológicos? ¿Cual es el tamaño de las empresas, su tamaño para favorecer y promover los cambios tecnológicos? vi) ¿En qué sectores se dan los cambios tecnológicos que inciden con mayor intensidad en el crecimiento? vii) ¿Cómo podrían organizarse las innovaciones que fueran compatibles tanto desde un punto de vista tecnológico como económico? hasta analizar los efectos en el empleo, la estructura ocupacional y el consumo, los procesos sociales, la apropiación del conocimiento, los efectos en el bienestar. Desde luego en todos ellos ha habido avances y gracias a esfuerzos se ha pretendido dominar mas el problema. Sin embargo todavía falta mucho incluso en las partes básicas, en el papel del mercado, de la ciencia, de la autonomía de la empresa y el especialista.

¹³ Se puede ver para el primero a Tirole (1992) y para un survey a diferentes tiempos ver: Sherer (1980), Kamien y Schwartz (1982), y posteriormente Cohen y Levin (1989) y Cohen (1995). Estos dos últimos para el segundo.

3. Los países en desarrollo

El crecimiento de los países menos industrializados ha sido más alto que el de los países donde se han dado innovaciones mayores. Aunque podría haber un problema de comparación entre diferentes niveles de industrialización y su correspondiente tasa de crecimiento, aún así se podría sostener que los países de economía planificada y de América Latina superan a los industrializados. En el cuadro 2-6, a excepción de Japón, en general se observa esta tendencia.

Al mismo tiempo, este alto crecimiento ha acompañado a otras características que no solamente lo diferencian con respecto a los países industrializados, sino también con los mismos de la región. F. Fajnzylber (1983) lo hace notar en su análisis sobre la industrialización trunca. La diversidad de aspectos en las economías como la distribución concentrada del ingreso, la baja articulación industria-agricultura, el patrón diferenciado de energéticos, el rezago en los bienes de capital, el liderazgo de las empresas transnacionales, y el proteccionismo, son todos ellos evidencias sonadas de una semi-industrialización, de una industrialización a medias ¹⁴.

Cuadro 2-6
Crecimiento anual promedio del PNB
Por regiones 1977 - 1985

| | |
|--------------------------------|------|
| América Latina | 5.5% |
| Estados Unidos | 3.6% |
| Europa Occidental | 4.3% |
| Japón | 8.6% |
| Países de economía planificada | 7.3% |
| Mundial | 4.9% |

Fuente: Fajnzylber F., 1986.

¹⁴ A pesar de que se aceptan tales diferencias, no todas tienen la misma importancia, pues no todas logran explicar de manera permanente las causas de un deterioro en el crecimiento y la industrialización. Sin embargo, para fines de análisis basta recalcar que efectivamente la experiencia del crecimiento es ese periodo es sustancial para someterlo a un análisis de productividad.

Surgen muchas interrogantes en torno a las causas del crecimiento de las economías industrializadas, a diferencia de las que fueron planificadas y las de América Latina. A nivel de un análisis de etapas de modernización de la industria se infiere que la planta productiva por cambiar o modernizar era y sigue siendo mayor en los países en vías de industrialización que en los industrializados y además, era y es más fácil reemplazar una planta productiva vieja y hasta obsoleta por una nueva pero conocida, que una existente y tal vez moderna por una más moderna pero desconocida. A otro nivel se discute las políticas de apertura y protección de mercados caracterizados por la sustitución de importaciones y la promoción de exportaciones, los cuales son reformulados por un sistema donde los países tienen un papel menos importante y en donde las empresas están unidas por los procesos que toman parte en la producción. Gereffi (1989,90,92,95) Korzeniewicz (1995) analizan los sistemas globales y hacen referencias a la simplicidad con que se ha tratado las estrategias de desarrollo encajonando a dos alternativas de especialización. El crecimiento con base en las exportaciones y con base en la sustitución de importaciones en países industrializados en Asia y en América Latina respectivamente. Sin embargo a pesar de que elaboran una teoría más acabada de desarrollo económico a nivel general no se puede decir que los países no explotaron al máximo las exportaciones para crecer ni tampoco los de la región latinoamericana en especial Brasil y México la sustitución de importaciones¹⁵.

Sin embargo, del análisis de F. Fajnzylber se podría desprender que las causas del crecimiento diferirían de un país a otro y que tal vez las explicaciones del crecimiento del producto por el lado del incremento en la productividad estarían asociados más a un sector manufacturero que a un sector primario atrasado. Lo anterior parte de que en muchos sectores, las industrias estaban y están, en algunos casos, en un estado predominantemente artesanal, y, por lo tanto, cualquier cambio de tecnología productiva involucra un cambio

¹⁵ Estos autores desarrollan el concepto de la fábrica mundial donde las partes y componentes de equipos pueden estar producidas en cualquier parte del mundo. El análisis rechaza la hipótesis de que solo ha habido una estrategia para aprovechar los mercados externos e internos como fundamento para explicar el crecimiento de los nuevos países industrializados en especial los Singapur, Taiwan, Honkong, Corea y desde luego Japón sino también Brasil y México en América Latina. En su visión de desarrollo tanto una política hacia fuera como hacia adentro tuvo lugar en ambos grupos de países y sería muy simplista seguir sosteniendo la estrategia tomada por los países asiáticos recién industrializados como modelo exclusivo. Plantean una nueva teoría de desarrollo económico haciendo énfasis en los papeles diferenciales de los nuevos países industrializados. Estos papeles se basan en: una especialización de las exportaciones de mercancías y materia prima, la subcontratación comercial, una plataforma de exportaciones, una estrategia de oferta de componentes, y el papel de exportador independiente. Estas 5 especialidades están conformando las bases en la nueva división de trabajo a nivel mundial rebasando por completo a la limitada y rígida posición de países con un perfil exportador e importador.

considerable en la productividad, a pesar de que los niveles de eficiencia de esta tecnología estén por debajo de los diseñados y que no sean las tecnologías más novedosas e incluso hasta que la propia tecnología no sea muy diferente. Sin embargo, no se pueden hacer generalizaciones desde ahora sobre las causas del crecimiento del producto. Evidentemente existe un aumento en la productividad la cual puede ser resultado tanto de explotar la tecnología eficientemente (técnicamente), como de optar por otra que cambie el nivel de la eficiencia¹⁶. En verdad esta última no se ha estudiado con la profundidad debida ya que se ha partido que las tecnologías evolucionan y que para que exista una nueva es necesaria que se agote las posibilidades de explotar la establecida. Esto en parte se ha debido a la fuerza de las explicaciones de la teoría neoclásica de concebir una alternativa que se basa en mejorar la tecnología actual y más eficientes y dando la idea que las tecnologías no se explotan eficientemente y que de ello depende una serie de conocimientos, y en segundo optar por otra tecnología diferente. El paso entre una y otra, la diferencia tecnológica si así se le pudiera llamar, esta basada (normalmente) en explicar a la tecnología nueva porque ya no era posible sostener la antigua mediante mejoras en su eficiencia¹⁷; es decir a lo largo de la curva de producción y un cambio en la curva de producción y en cambio no hay espacio para concebir un salto cualitativo sin que necesariamente se tenga que llegar a la nueva tecnología. De esta manera se tendría que explicar tecnologías menos modernas (hasta artesanales) como muy buenas, por no decir eficientes que implicaran otro cambio en el consumo de los insumos y otros productos y sin embargo con avance o retroceso de la productividad. Pueden haber tecnologías que impliquen un retroceso en la industria pero no en el medio sectorial, regional y viceversa ya que en este enfoque no hay forma de analizar estas diferencias y porque puede darse que brote una nueva tecnología ausente de la ambientación que trae consigo los paradigmas de equilibrio y mercados competitivos. De no ser así, mientras se acepte el movimiento a lo largo de la curva de producción todos los países en industrialización están a expensas de que les lleguen otras tecnologías más modernas. El crecimiento en este sentido solo hablaría por una

¹⁶ La opinión generalizada acerca de las recomendaciones de las instituciones internacionales para los países en proceso de industrialización en contraposición con las argumentaciones del sistema mundial algunos autores basados en las experiencias de los países asiáticos en su calidad de exportadores y basado en el concepto de crecimiento endógeno han recomendado una política de fomento a la competencia y apertura a mercados internacionales y al mismo tiempo apoyando fuertemente la consolidación de las capacidades tecnológicas. Ver Pack (1993)

¹⁷ En este aspecto debe considerarse la contribución de B Arthur (1988) al análisis del ambiente de competencia entre tecnologías y el enfoque de Lock-in. Véase también el trabajo de Islas (1996) que discute el renacimiento y dominio de la tecnología de turbinas de gas dentro de un enfoque Lock-in.

reproducción de capital y mano de obra y no haría una evaluación de las capacidades *indigenous*.

A pesar del dinamismo del sector primario y de la agricultura en esta segunda mitad del siglo (como se observó en la economía de Estados Unidos), el análisis en principio se basa en la manufactura aunque desde ahora se podría sospechar que los incrementos en la productividad a nivel global le restarían peso, dadas la receptividad y adaptabilidad de las innovaciones en el sector primario a diferencia de los servicios. En el caso de México, se observa que existe un dinamismo y un cambio en la productividad en diferentes sectores de la economía mexicana en el período 1960-75 (cuadros A2-7 y A2-8). A pesar de que puede haber problemas en la medición tanto de la producción como de la fuerza de trabajo, se observan sectores con tasas de crecimiento altas en la producción, como la maquinaria, la química, la electricidad, y crecimientos en la productividad por encima del 3 y 4%¹⁸), no obstante las limitaciones de la agregación¹⁹. Existen asociaciones que son similares a los patrones de las economías industrializadas, sobre todo si se considera quién se beneficia directamente de este cambio en la productividad. En este período, se puede decir que existe una asociación positiva entre la tasa de crecimiento de la productividad y el cambio en la proporción de los salarios en el valor agregado. Pero, por otra parte, no se evidencian los patrones de la tasa de crecimiento del ingreso y la tasa de crecimiento de la productividad que se dan en otros países (Jardón, 1980).

No es difícil encontrar heterogeneidad estructural en industrias que solamente se pueden entender como de capital intensivo. Un ejemplo de esta situación es la diferencia entre el conjunto de la petroquímica y la industria alimentaria, o de vestido²⁰.

Posterior a este período la tasa de crecimiento de la productividad manufacturera cambia dramáticamente. Aunque con diferente objetivo Unger (1993) analiza el comportamiento del incremento en la productividad encontrando industrias más dinámicas inclusive en el período de severa recesión. El cuadro A2-9 muestra las tasa de crecimiento de la productividad para los períodos 1982-86 y 1987-90. Se observa no sólo una caída en

¹⁸ Estas diferencias se deben principalmente a la cobertura de la información de las diferentes fuentes, como el Banco de México para la producción, los Censos Industriales para la producción y la fuerza de trabajo, y los censos de población para la fuerza de trabajo.

¹⁹ Véase también el análisis hecho por Hernández Laos (1985) referidos a la eficiencia sectorial, regional y de tamaño de planta. En el período 1960-85 desde luego que la productividad disminuye por la dinámica de la actividad económica en los ochenta. En este período el autor encuentra una tasa de 0.9% anual. Esta tasa equivale a la productividad total. Es evidente que esta tasa es el reflejo de la dinámica sectorial donde en la mayoría muestran tasas negativas y con mucho un muy insignificante crecimiento como la maquinaria, química.

²⁰ Los intentos de agrupación son varios y van desde aquellos que consideran a la acumulación como central, los de considerar variables específicas, y otros que consideran la forma de relación con el moderno. Para una exposición sobre el sector informal y los diferentes enfoques ver Jardón, 1986.

la tasa de crecimiento de la productividad en el primer período, sino también una cercana restauración del ritmo de crecimiento al compararse con el período 1960-75 en el período 1987-90 al registrarse 3.1% anual. Un mayor desglose en estos períodos indican que los años 1982 y 1990 son más similares al período 1960-75 ya que muestran tasas mayores. Esto en parte como lo menciona el autor puede deberse más que a un incremento de la productividad a un reajuste del personal dada la severidad de la crisis. Sin embargo, no se descarta que al mismo tiempo del reajuste del personal se haya llevado una reestructuración en la producción y tal vez un cambio en la productividad²¹.

Si lo que interesa es explicar en qué medida el cambio en la productividad se debe a cambios tecnológicos o a cambios en la reproducción del capital y del trabajo, la situación no sería tan diferente que en los países industrializados ya que la cuestión se centra en cuantificar las aportaciones de cada uno. Esto no quiere decir que las tecnologías que se incorporan sean las mismas ni que la adaptabilidad de las nuevas tecnologías también sea la misma. En el primer caso, se puede tratar de tecnologías novedosas o no; en el segundo, la forma de explotar la nueva tecnología depende de muchos factores que incluso presionan para que se incluyan tecnologías nuevas y mayores. Esto último es lo que atrae a muchos de los interesados en promover las innovaciones y encontrar las formas de adaptabilidad con el objetivo de no desaprovecharlas.

Algunos autores han medido el crecimiento de la productividad de la economía. Hernandez Laos y Velasco (1990,) han discutido el crecimiento extensivo e intensivo de la economía mexicana. Aunque un análisis global en una economía muy heterogénea implica una depuración de la información al extremo, inclusive partiendo de esta base, se puede tener idea de las causas del crecimiento en comparación con otros países industrializados o en proceso de industrialización. La difícil tarea de separar el crecimiento de la productividad por factores extensivos e intensivos ha dado como resultado que el peso del crecimiento recaiga sobre los primeros (es decir trabajo y capital). A pesar de que las estimaciones de los autores tratan de ser las más cuidadosas para no afectar la productividad total de los factores se aprecia cierta omisión en periodos donde el reajuste motivo despidos y en consecuencia incremento la productividad. Junto a lo anterior la heterogeneidad de las empresas inclusive más grandes impide evaluar que industrias estén dando mayor peso hacia un crecimiento extensivo. Inclusive el análisis descarta la idea de

²¹ Algunos sectores industrias obtuvieron cambios significativos que abogarian por cambios no solo de recortes de personal sino tecnológico. La química la siderurgia, la automotriz podrían ser e caso. Un análisis más a fondo como lo recomienda el autor sería indispensable para reconocer los caminos de la reestructuración.

que otras empresas mucho menos intensivas en capital como pueden ser algunas pequeñas industrias estén creciendo no extensivamente. Sin embargo dado que esto no está en la muestra de industrias que se analiza no se considera por lo tanto el peso que pudieran tener en la economía en su conjunto y los recursos de mano de obra utilizados²². Otra apreciación sería el evaluar la productividad ponderando no solo el tamaño de las industrias sino también la intensidad del capital en periodos relativamente cortos. Esto evitaría por un lado desfases entre las industrias y al mismo tiempo disminuiría la productividad del capital. Un análisis que agrupa a la economía mexicana con este criterio puede ser el de Dussel (1995) a partir del cual se pudiera analizar la productividad de la totalidad del sector manufacturero.

Otro aspecto relevante es que ambos estudios están referidos a las manufacturas y no se ha incorporado los servicios. Independiente de las razones que dan ambos autores para no incorporar a los servicios, la productividad laboral en este sector ha aumentado en los últimos años y en buena parte ha acaparado una proporción de la actividad de la economía. La disminución del peso de las manufacturas puede frenarse pero no se puede eliminar la tendencia decreciente. Puede frenarse si se incorpora el sector más atrasado de la manufactura intensiva y en este sentido disminuye el peso de la totalidad. Sin embargo los sectores atrasados tendrán tarde o temprano que aumentar su productividad. Además no hay una clara exposición de sectores dinámicos que pueden considerarse en la manufactura y en los servicios. En especial la industria de la informática y en específico la producción de software y servicios profesionales han tenido y tendrán un dinamismo que no solo repercutirá en el resto de los sectores sino que en ellos mismo su crecimiento obedecerá a factores extensivos e intensivos.

Otros análisis de la economía mexicana han retomado la cuestión y han intentado encontrar la respuesta. El trabajo de Casar y Ros, (1981, 1983) trata el tema pero no presenta una explicación cabal sobre las causas del crecimiento. Es evidente que no es el objetivo central del ensayo y por lo mismo los argumentos razonados pueden ser válidos dado el nivel de generalidad. Quizás la mayor inconformidad sea la atención tan baja que se le da al sector manufacturero como caso en donde típicamente se dan los mayores cambios

²² Desde el otro extremo están otros análisis como el de Loria (1995) quien considera toda la economía pero sin hacer ninguna excepción a la heterogeneidad estructural. Los resultados del análisis son lo opuesto al de Hernández Laos y Velasco, es decir el crecimiento se debe a factores intensivos más que extensivos. Dada las limitaciones de la información, el considerar todos los sectores atrasados y modernos, pequeños y grandes, y sobre todo una evidente falta de depuración de la mano de obra difícilmente se puede dar crédito que el responsable del crecimiento ha sido por la vía intensiva. En todo caso no es posible llegar a una conclusión acerca de que el crecimiento se deba a una u otra razón.

tecnológicos. La rama metal-mecánica ha tenido incrementos substanciales en la productividad y si se le compara todavía con años más recientes éstos todavía abogarían por un mayor dinamismo tecnológico. Sin embargo, no se puede hablar de las industrias de mayor avance tecnológico ya que implicaría un grado mayor de heterogeneidad estructural a la vez que omitiría la química y la petroquímica que definitivamente no por estar en países no industrializados son en su ramo muy diferentes de los industrializados. El hecho de que México haya sido en una etapa un país petrolero, al menos desde los años cuarenta, y de que dicha industria sea posterior a la primera guerra mundial, hace pensar que no puede ocurrir tal grado de obsolescencia²³.

A pesar de las transformaciones que ha experimentado la industria textil, a la cual también hacen referencia Casar y Ros, no se le podría considerar como la responsable de los cambios tecnológicos. La concentración y reorganización de las industrias indica que ésta es diferente en los hilados que en los tejidos. Los mayores cambios tecnológicos experimentados por muchos países ocurren en la industria del hilo y no en la del tejido donde las transformaciones no han sido tan drásticas. Bajo la influencia de la industria química secundaria, la robotización de la industria del hilado (fibras blandas) y de las fibras sintéticas es la causa del incremento de la productividad, más no es así en el conjunto de la industria textil.

En otros sectores de la industria, como la alimenticia, en promedio no se pueden observar tan fácilmente los cambios tecnológicos al no haber una homogeneidad en la estructura productiva. En el caso de los alimentos y el vestido, las tecnologías conviven con mercados y patrones de consumo diferentes. En estos casos, aunque una industria explote la tecnología más adelantada del mundo, ya sea por competencia oligopólica o por intervención del estado a nivel global, pierde su alta productividad²⁴. La dualidad tecnológica en los países en proceso de industrialización es evidente al conjuntarse empresas grandes con pequeñas. Si bien los análisis que se han hecho respecto al papel de los cambios tecnológicos en el crecimiento se han referido a grandes empresas esto no significa que a nivel de la pequeña y mediana empresa no existan cambios en la productividad por la vía intensiva. Una respuesta acerca de si estos cambios en la

²³ Más aún, en un estudio sobre el sector energético se concluye que a excepción de la industria química y petroquímica en general, las transformaciones tecnológicas en México no han sido tan profundas como en estos sectores. Mientras que la industria metal mecánica, aunque ya existía un cierto grado de avance en México, a nivel mundial no predomina tecnológicamente además de ya encontrarse en una fase de madurez tanto de los productos que manufactura como de los procesos que utiliza.

²⁴ Existen sectores como éste en donde la heterogeneidad es mucho mayor y en donde sería más difícil un análisis sectorial

productividad se debe a cambios tecnológicos en estas últimas industrias para algunos es imposible y para otros falta un mayor análisis²⁵. Algunos estudios que se han hecho realmente no han proporcionado elementos para contestar esta interrogante. El caso de Japón inclusive como país industrializado y ejemplar tampoco se puede desprender una argumentación contundente ya que la productividad de las pequeñas empresas es muy baja en comparación con las grandes empresas y en un proceso de apertura comercial el número de empresas ha disminuido. En países menos industrializados los análisis son muy precarios en datos y en calidad. Ruiz(1992,96) hace un análisis del potencial de las pequeñas empresas en México. Al igual que los anteriores no se aclara la cuestión tecnológica y en todo caso el problema se interpretaría en la alternativa de las empresas para explotar una tecnología más eficientemente.

En el caso de la agricultura, si bien la mecanización tiende a elevar el nivel de productividad, su impacto en la producción global es menor ya que esta productividad proviene de incrementos en la manufactura²⁶ y de otros servicios que crecen más rápidamente. El hecho de que este sector tienda a expulsar mano de obra se debe, en parte, a que no se ha sabido industrializar la producción agrícola pues en sí la demanda de maquinaria agrícola e insumos de la producción es un mercado interno necesario para que otras manufacturas se puedan desarrollar y crecer. Por lo tanto, no tiene sentido extrañarse ante la expulsión de la mano de obra ni el desempleo antes de explicar la industrialización. Por experiencia, en los países industrializados, la absorción de mano de obra en el campo es decreciente, por lo tanto entre más abunde, la expulsión será mayor²⁷.

En México, el incremento de la productividad en algunos polos de desarrollo ha cobrado especial interés por el hecho de que terciariza la economía local. A nivel global, la productividad en este sector no crece y tienen un efecto alcista sobre los salarios profesionales. Como la movilidad de la mano de obra no es automática, un incremento en la productividad no necesariamente se expresa en incremento de salarios. Por esto, el peso en términos del producto bruto del sector servicios, cuando se incrementa la productividad, permanece sin cambios en comparación con lo que ocurre en un país industrializado. Si

²⁵ Aunque Stewart (1977) ha estudiado la cuestión de la elección tecnológica en economías subdesarrolladas este problema se ubica ahora en forma diferente dado que no tiene por objetivo reconciliar otros problemas como el empleo por ejemplo.

²⁶ Desde luego que recientemente la biotecnología ha comenzado a presentar un potencial enorme.

²⁷ Esto que pudiera ser irremediable, cambiaría si el nuevo incremento en la productividad, a raíz de la mecanización, se dirigiera a retener el excedente generado mediante mercados y tecnologías locales. En muchos casos, las causas del desempleo no son las nuevas tecnologías sino que parte del incremento en la productividad no se queda en la localidad y de que las tecnologías que se explotan no son eficientes al lugar.

aparte sumamos las presiones del desempleo, es más fácil pensar que los incrementos en la productividad se traducen en salarios bajos y mayor empleo que en mayores salarios, además de que la productividad no puede crecer tan rápidamente. Esto último, representa un amortiguador, pues si las actividades de los servicios fueran capaces de absorber las innovaciones se incrementaría el desempleo.

Medir la aportación de la productividad al crecimiento de un país como México representa ciertas dificultades. Por un lado, lo nuevo de la tecnología depende del sector y de los mercados, y, por el otro, dado los efectos de desempleo que se generan, el uso de tecnologías intensivas en mano de obra sobre todo en los servicios pueden promoverse. De esta forma, las diferencias entre países industrializados y semi-industrializados estriban en los efectos de las tecnologías en sectores donde los cambios tecnológicos no se dan y no se adaptan tan fácilmente, esto es, independientemente de lo novedoso de la tecnología que se incorpore.

Otros análisis que pueden considerarse en esta dirección pero que no ha sido el objetivo central del estudio son el de Alejandro Vázquez, "Crecimiento económico y productividad en la industria manufacturera", (1981), y el de José Valenzuela F. "La industria mexicana tendencias y problemas" (1984). En el primero, el autor se centra en considerar a la productividad endógena al proceso productivo al explicar en su modelo de regresión la productividad dependiente del producto. De hecho, los resultados no correlacionan completamente su hipótesis dando cabida a que, como es costumbre metodológicamente, en el fondo subsista un problema de acumulación. Se piensa que el problema es analizar el grado en que la productividad depende de factores exógenos y medir esta dependencia. De acuerdo con la literatura que revisa, éste es el punto a considerar pues de otro modo se comportaría como cualquier otro análisis. De hecho, al no investigar más a fondo sobre la producción dependiente de la productividad, el análisis se vuelve convencional desde el punto de vista tecnológico, ya que los cambios tecnológicos que se conciben tan sólo se darían a lo largo de la curva de producción en donde se observaría un incremento en la eficiencia pero sin saber si se tuvo que innovar para competir o dependió de otro conocimiento autónomo. Esto hace suponer que cierta tradición en el análisis hace que se enfoque en el debate de la causalidad de la inversión sin permitir que la productividad determine la producción de manera exógena²⁸.

²⁸ Por otro lado, dada la forma de plantear el problema, se asume que solamente las industrias tecnológicamente retrasadas son las que innovaron, y, por lo tanto, se parte de que el crecimiento del producto debido a incrementos en la productividad se puede explicar por estas industrias dejando de antemano a un lado las más avanzadas. Lo anterior resulta difícil de creer ya que

El trabajo de Valenzuela al igual que el anterior no llega a explicar el crecimiento a través de la productividad exógena al proceso productivo. En este caso las conclusiones del autor se basan en que el crecimiento de México en el período 1950-80 se fundó en la reproducción de la mano de obra y del capital ya que el componente intensivo-intensivo es negativo²⁹.

Unger (1993,94) ha analizado el carácter exportador de la industria manufacturera mexicana y su relación con la actividad tecnológica encontrando una casi nula asociación entre la productividad y las exportaciones. De esta manera la dinámica exportadora en los ochenta y parte de los noventa debe explicarse por otras causas. De hecho el análisis va más allá al indagar sobre si se da un cambio estructural o conocer las causas de un cambio estructural trunco³⁰. Otros trabajos que analizan más el papel de la competitividad de la industria mexicana encuentran resultados parecidos al de Unger³¹. Sin embargo la diferencia con estos autores está en un interés por delinear una política industrial inmiscuida en la globalización y no tanto en el énfasis que se le da a la articulación tecnológica basada en la comprensión de los fenómenos de los cambios tecnológicos y donde en este trabajo se intenta profundizar.

Los trabajos que analizan la economía mexicana desde una perspectiva estructural lo hacen por industria y sector. Con el tema de la reconversión, se ha incrementado el interés por conocer el significado, las formas de hacerla y las posibilidades. Son ya varios los estudios que se especializan en la actividad industrial. Sin embargo, como lo menciona E. de Garza (1988), no existe un consenso acabado en torno a incorporar la reconversión

presupone que las industrias que están por debajo del promedio de la línea de ajuste son totalmente nuevas, y en segundo lugar, no hay consenso en torno a si en términos de tecnología están a la cabeza a nivel mundial.

²⁹ A pesar de que no se mencionan los problemas de la información, no es clara la explicación del autor acerca de que la aportación del capital en la productividad (intensivo-intensivo) es negativa. Por una parte, no es consistente al considerar los acervos de capital, ya que al hacerlo debería superar el problema de medición de éste, dado que lo que se quiere medir son las tecnologías en el tiempo. Es decir, omite la crítica a la teoría del capital. Por otra, en la economía es difícil encontrarle sentido a las cantidades negativas. Este problema parte de considerar los acervos en lugar de los incrementos. Si esto se hace no serían menor a la unidad, y se hace, en todo caso las contribuciones son menores a la unidad. Lo que refleja una cantidad negativa en todo caso es una descapitalización y para medirla se requiere de unidades, volviéndose un círculo vicioso.

Otro aspecto es el que no asume las ineficiencias en la mano de obra. Estas solamente pueden ocurrir en el capital: los componentes del crecimiento son extensivos (porcentajes del producto atribuibles a la mayor ocupación), intensivo-extensivo (atribuibles a una mayor densidad de capital) e intensivo-intensivo (atribuibles a las variaciones en el coeficiente producto - capital fijo). Como se observa, debido a la forma como se determina el crecimiento del producto, éste no puede incluir un incremento de la productividad de la mano de obra independiente del capital.

Un último problema es el que resulta de analizar los conceptos densidad de capital, y el coeficiente producto - capital. A pesar de que son coeficientes comunes en la economía, el primero puede representar problemas ya que no se sabe si la densidad se refiere a un proyecto más intensivo en capital o si éste también involucra cierto rendimiento del capital en términos de mano de obra. Si es así, faltaría el equivalente de la mano de obra. Todo parece indicar que lo que mide la productividad solamente se observa en el coeficiente producto - capital, o bien no se consideran innovaciones pequeñas en el trabajo o el capital.

³⁰ Véase también el análisis sobre la industria petroquímica y de bienes de capital. Unger (1994).

³¹ Ver por ejemplo Casar (1993,94), Clavijo (1994), Moreno (1994), Mattar (1994).

industrial en forma global a toda la economía. Existen sectores que por sí mismos tienden a sobresalir en la reconversión, como son la industria de partes automotrices, la electrónica, y la química. También existe el problema de definir en qué tipo de industrias urge la reconversión frente a otras en que la reconversión es inminente, es decir, las industrias tradicionales por un lado, y las modernas por el otro. Junto a esto está también la industria transnacional, la estatal y la privada, cada una con una dinámica que la caracteriza ³².

II Los Ciclos de largo plazo

Para muchos existe consenso en relacionar las crisis cíclicas de largo plazo con los cambios radicales y las reestructuraciones industriales a raíz principalmente de cambios tecnológicos.

Se han incorporado con mayor énfasis los ciclos de largo plazo al análisis económico para explicar la actual crisis. Basta recordar los trabajos del economista ruso N.D. Kondratiev, expuestos en 1920, en los cuales identificó tres grandes ciclos mediante series de precios de la producción de países como Estados Unidos, Francia, Alemania e Inglaterra ³³. Aunque Kondratiev no incluyó la tecnología como la causa del ciclo de largo plazo, si sugirió que durante la expansión se podrían incorporar inversiones que no habían sido aplicadas en esta etapa y si estar sujeto a mayores inversiones. Un aspecto central en la discusión ha sido acerca de la existencia de los ciclos. Los mayores cuestionamientos y críticas de su época se concentraron en la validez de sus postulados. Por parte de Schumpeter, el énfasis que le da al empresario es tal vez en el fondo motivo de discordia pues además tiene que superar estadios de conocimiento ya preestablecidos, como la noción de desequilibrio necesaria para el argumento de la destrucción creativa. Ambos quedaron al margen de la popularidad en sus tiempos por diferentes razones ³⁴.

³² Para ellas la reconversión no implica un cambio de tecnología y una mayor productividad, sino un cambio en su función respecto al papel que han venido ejerciendo. Este cambio de función no solamente se observa más nitidamente en la estatal sino en la transnacional donde se perfila más rápidamente la reconversión, pero con otro tipo de ventajas que todavía no se logran evaluar.

³³ Los ciclos identificados por Kondratiev son: uno entre 1720 y 1850, de aproximadamente sesenta años y con el punto más alto entre 1810 y 1817; otro entre 1850 y 1895 de aproximadamente cuarenticinco años y con la cumbre en alrededor de 1875; y el tercero empieza alrededor de 1895 y alcanza su punto más álgido entre 1914 y 1920.

³⁴ Kondratiev queda al margen por el predominio de otras corrientes en la teoría marxista y por ciertas inconsistencias en los puntos de inflexión. Mientras que Schumpeter, por el peso de la Teoría General de Keynes publicada solamente tres años antes de la publicación de Teoría de Ciclos.

En general, después de los trabajos de Schumpeter se discute la periodicidad de los ciclos, la cual hasta hoy es materia de discusión. ¿Porqué cada cincuenta o sesenta años? ¿Cuál es el papel del empresario? ¿Cuáles son los efectos de las innovaciones? ¿De dónde provienen? ¿Quién las genera? ¿Cómo impactan en la economía? ¿En qué sectores? ¿En qué empresas? ¿Que dimensiones adquiere con respecto al empleo? ¿Con respecto al consumo? ¿Cuál es el proceso de difusión de las innovaciones? ¿Cual es la dinámica de cambio sectorial? ¿Cuál es la relación con la política económica de manejo de la demanda? ¿Cuál es el problema de las discontinuidades? ¿Qué determina la forma en que se relacionan las innovaciones y las fases del ciclo?

De acuerdo con C. Freeman (1982), en la conferencia sobre ciclos largos celebrada en la Universidad de Bochum en 1980, la discusión en torno a los ciclos económicos llevó al rechazo del planteamiento del ciclo largo. Asimismo, según el autor, mucha gente mostró su inconformidad con el mecanicismo de las teorías de largo plazo basadas en presuposiciones sobre el capital fijo.

Sin embargo, para aceptar los trabajos de Schumpeter es necesario relajar ciertas rigideces, como la flexibilidad de la periodicidad de los ciclos, y hablar entonces de lo que Van der Zwan llama la noción de mayores periodos estructurales de crisis, y lo que Mensch (1975) ha bautizado como el modelo de metamorfosis.³⁵

J. Delbeke (1983) en su análisis hace diferentes intentos por explicar el ciclo largo. El planteamiento que más toma en cuenta el papel del empresario es el de Schumpeter y es a él a quien se responsabiliza de un mayor análisis contemporáneo³⁶. A pesar de que Schumpeter contribuye enormemente a explicar cómo aparecen las innovaciones y el papel del empresario, el tomador de riesgos y el emprendedor, no es claro cuando trata de explicar la periodicidad de los ciclos. Seguramente tienen más vigencia otras explicaciones en torno al ciclo de vida de los productos y de los procesos.

Mensch ha llevado a cabo estudios con base en la tesis de Schumpeter precisando los puntos de cambio y relacionándolos con las principales inversiones e innovaciones sin

³⁵ Autores como Tinbergen (1984) y J.J. van Duijn han estudiado no solamente los ciclos largos sino la larga tradición de los economistas holandeses que antaño se dedicaban al análisis de los periodos y de las teorías de los ciclos desde los Kichin (cada año), Juglar (cada 10 años) y los largos (cada 50 o 60 años).

³⁶ La innovación tecnológica es casi la única en la determinación del ciclo económico que se da en conjunto y en forma irregular. Los inversionistas son activos innovadores al contrario de los gerentes. La desaparición de las ganancias se ubica en el punto más alto del ciclo y la parte más baja ocurre después de la destrucción creativa de una depresión. La solución fundamental se da cuando nuevos bienes de consumo y métodos de producción aparecen paralelamente a una reorganización industrial.

llegar a explicaciones que combinen información con explicaciones teóricas dando como resultado un análisis monocausístico³⁷.

En una investigación posterior, Mensch y sus colegas (1984) fundamentan su trabajo en el argumento de que las fluctuaciones industriales de largo plazo corresponden a apreciaciones paternalistas inesperadas, a las depreciaciones del stock de capital, y a cambios sucesivos en las propensiones a invertir por parte de muchos inversionistas dueños de capital renuentes a invertir en los bienes de capital existentes. Las dos primeras proposiciones se enmarcan en el concepto de no equilibrio y en las discontinuidades³⁸. La tercera la diferencia del planteamiento de Mensch proviene de considerar un cambio de régimen y de esta forma no dar tanto peso ni al heroísmo innovador de Schumpeter ni a la escasez previa de la innovación. La principal diferencia con respecto al planteamiento de Schumpeter es la de considerar diversas situaciones que dan cabida a otra discontinuidad: el cambio en la condiciones del mercado y la propensión a innovar por parte del innovador, (Mensch, 1984). Los puntos encontrados aparentemente entre los pros y los contras dosificados del schumpeterismo se relacionan con el papel innovador del empresario³⁹..

³⁷ Según Freeman, Clark y Soete (1982) las mayores inconsistencias en el trabajo de Mensch están tanto en la definición de las innovaciones básicas, la forma como se combinan con la parte del ciclo en los periodos de depresión, el agrupamiento y forma como aparecen las innovaciones en bloque sin considerar la relación de continuidad y discontinuidad que en Schumpeter es fundamental. Sin embargo, los autores al hacer su planteamiento de ciclo largo, de hecho continúan un marco teórico muy parecido al de Schumpeter para consolidar con mejores bases una teoría de ciclos que pueda servir a la teoría económica para predecir cambios, guiar y disminuir las depresiones.

³⁸ En la primera, los estadios que se aceptan son el paso de un momento de no-equilibrio a otro de no-equilibrio. Son pocas en verdad las diferencias con Schumpeter en torno a este punto ya que no hace referencia especial a un estadio de equilibrio al pasar de una situación de monopolio a una de competencia perfecta cuando entra el proceso de competencia y la innovación se vuelve motivo para atraer las inversiones. Se trata de un proceso de *swarm*.

El segundo, basado en lo opuesto al proceso de continuidad de Marshall, es decir, en lo normal. En este aspecto, Freeman enfrenta mejor las discontinuidades ya que las analiza junto con la política de insuficiencia de la demanda. A pesar de que Freeman y sus colegas no privilegian la argumentación de Mensch por apartarse de las razones poderosas por las cuales Schumpeter le da vigor al empresario, es decir, las discontinuidades de Schumpeter, la base para entender o explicar los ciclos largos, la ilustran magistralmente. El asunto de las discontinuidades proviene del análisis bajo una perspectiva de acumulación, pues cualquier intento de estudio de los ciclos implica de hecho un proceso de acumulación. El famoso multiplicador/acelerador en el enfoque keynesiano es el primero en producir retardos al no conocerse éste como perfecto. La cantidad de imperfecciones y retrasos en la expansión del capital: es decir, desde la demanda por la inversión hasta los problemas de acumulación, respectivamente. Las primeras obedecen al llamado proceso de expectativas inciertas y a las tasas de interés, las segundas se ven afectadas por la inflexibilidad en los retrasos del capital, su longevidad y la inflexibilidad de la sustitución de capital por trabajo.

Las inflexibilidades no solamente conducirían a desequilibrios sino también a ciclos de largo plazo. Como es patente, los cambios tecnológicos conducen a inflexibilidades y discontinuidades. En el corto plazo, según Freeman, la demanda de inversiones exagera las expectativas provocando así generación de empleo. Sin embargo, debido al cambio tecnológico, éste puede afectar la estructura de la demanda de inversiones debido a incrementos en el precio dada su imposición afectando de esta manera la demanda de empleo y mitigando las buenas expectativas. En el largo plazo, la acumulación de capital puede implicar generación y abatimiento del empleo ya que esto va a depender del tipo de innovación y de las condiciones prevalecientes de la demanda.

³⁹ La crítica de Freeman a Mensch se enfoca en restarle importancia al empresario innovador y promotor. De acuerdo con Mensch este punto de Schumpeter lleva a un callejón sin salida. En sí, la diferencia no es tan importante, si bien es una característica del empresario, en todo caso el problema puede atribuirse a un problema de personalidad: existen personas dotadas para ser empresarios emprendedores. Desde el punto de vista de la ciencia económica, una adecuación con otras teorías (como las teorías de organización) mejora esta discontinuidad. Incluso, esto último concuerda con los comentarios de

Ambas proposiciones se fundamenta en la tradición de los economistas clásicos: en la noción del no-equilibrio (encontrada en Ricardo y Mill), en las discontinuidades del proceso económico, y en las causas de las innovaciones.

Freeman (1982) sostiene las explicaciones en torno a la escasez y abundancia de la fuerza de trabajo incorporando los planteamientos schumpeterianos de las innovaciones, y relacionándolos con la actual crisis de corto plazo por el lado de la demanda. El enfoque combina las explicaciones de las crisis de corto plazo relacionándolas con planteamientos nekeynesianos y con una visión estructuralista sobre los cambios tecnológicos. Por el lado de la demanda, el tratamiento es parecido al proceso de difusión en términos de producción⁴⁰. El análisis se hace a nivel agregado pero identificando sectores de la producción y, por lo tanto, coeficientes de producción y de demanda los que tienen un importante impacto en la estructura de la demanda⁴¹. El problema es que, aparte de considerar homogénea la tasa de cambio de la tecnología, no llega a explicarla. En el primero, se reconoce que los cambios tecnológicos no aparecen en forma constante sino en conjunto, y, en el segundo, no se trata de explicar la aparición de un cambio tecnológico sino de incorporarlo a la dinámica de los coeficientes para llegar a una teoría mas acabada de la producción.

Freeman finalmente aborda el problema de coordinar las innovaciones, los conjuntos en bloque en el planteamiento de Mensch, con el concepto de sistemas tecnológicos. En el fondo, implica una relación entre las innovaciones, desde las básicas hasta las menores, por producto y por proceso. Freeman elabora esta teoría con base en la industria electrónica y química del Reino Unido. De esta forma resuelve la laguna dejada por Mensch en torno a la forma de ligar las innovaciones en una situación suelta sin conexión alguna.⁴²

En los periodos de auge y crecimiento, las empresas que explotan la actividad productiva disfrutan de una superganancia y su impacto sobre la economía promueve la generación de empleo. La demanda creciente de este factor puede generar presiones

Delbeke acerca del gradualismo en Schumpeter haciendo referencia a las teorías de Mensch. En todo caso la posición comentada a C. Freeman no es la adecuada.

⁴⁰ Según L. Pasinetti (1983) cualquier cambio en los coeficientes de producción implica un cambio en el patrón de la demanda. Aunque el trabajo de Pasinetti va encaminado a lograr una teoría de la producción y en este sentido supera el problema no logrado por enfoques schumpeterianos incorporando en su análisis la importancia del cambio técnico en la producción como determinante y al mismo tiempo atribuyendo las características del nuevo patrón de la demanda a los cambios tecnológicos.

⁴¹ El análisis de la dinámica económica se basa en la no elasticidad de los coeficientes de producción y, por lo tanto, de la demanda.

⁴² Otros planteamientos importantes son los que desde el principio se interesaron en los trabajos de Kondratiev. Mandel, especialmente, con la tradición de la escuela, alude a los ciclos de largo plazo y al proceso que se da en la igualación de la tasa de ganancia. Sin embargo, al mismo tiempo Forrester no involucra la restauración de la tasa de ganancia después de la destrucción y la crisis. En el fondo debiera existir una explicación que desde luego atañe a las raíces de los cambios tecnológicos.

inflacionarias a través de los costos. Esto se debe principalmente a que la economía crece, se incorporan más empresas y el acceso es relativamente fácil, lo cual permite diferentes tamaños de empresas y repercute en la demanda de mano de obra de otros sectores e industrias de la economía. El proceso cambia cuando la tecnología madura y ya son varias las empresas que compiten y se han introducido en los mercados con lo cual se incrementa la competencia. Es así cómo las economías de escala se asocian a innovaciones que, en un principio, son producto del desarrollo del producto y, posteriormente, del proceso y que responden a reducciones de costos y especialmente de mano de obra. Es entonces cuando la competencia es mayor, se reducen las ganancias que se ven erosionadas a raíz de la competencia. Los salarios, sin embargo, no necesariamente tienden a la baja ya que les puede convenir a las empresas mantenerlos al alza como forma de incrementar la productividad sin descuidar las ganancias. El proceso de concentración se agudiza y el mercado se vuelve más severo ⁴³.

La automaticidad que se da entre los alargamientos de la competencia, y las innovaciones en el fondo no existe, y el proceso de innovaciones, la parte del ciclo, las empresas líder, y la competencia, en general, hacen que el proceso sea más complicado y existan diferencias profundas entre los sectores. De hecho, de acuerdo con algunas investigaciones recientes ⁴⁴ difícilmente se podría sostener el argumento de un proceso continuo y sin altibajos, de pasar de una situación monopólica a una de mayor competencia. Incluso, en este punto, resaltan muchas inconsistencias con la teoría microeconómica tradicional, pues no está claro cómo se asocia el grado de monopolio con barreras a la entrada mientras que en esta parte del ciclo pareciera ser que las empresas líder anuncian una superganancia y promueven la competencia. También, cuando se habla de mayor competencia, es decir cuando se inicia el periodo de maduración y se entra al de obsolescencia y recesión primaria (en el ciclo largo), habrían mayores dificultades a la entrada lo que involucraría cierto tipo de competencia oligopólica. No se sabe si al hablar de cierta especialidad por innovar implica que las empresas se especialicen y/o tengan diferentes trayectorias tecnológicas que conlleven a limitar o favorecer los argumentos del

⁴³ Este es el panorama que prevalece: desde una posición de crecimiento sostenido a una de recesión que cambia el estancamiento y la inflación, y a la vez degenera en depresión. Como es sabido, la parte de mayor opulencia ocurre cuando la innovación pasa a la fase de maduración.

⁴⁴ La bibliografía sobre este tema es extensa. En general se puede decir que ha madurado la ubicación de las innovaciones por sector, por tamaño de empresa, por tipo de innovación y el reagrupamiento de las industrias con base en un concepto evolucionista. Al respecto se cuenta con los trabajos de Rosenberg (1979, 1983), Nelson (1981), Nelson y Winter (1982), Dosi (1984), Pavit (1984, 1988), Robson (1988, 1989), y Abernathy y Utterback (1975, 1985), entre otros.

ciclo de vida de los productos y los procesos y su crecimiento sea vertical u horizontal , adentro u afuera.

La experiencia en este siglo parte del auge generado antes y después de la segunda guerra mundial causado principalmente por el tipo de innovaciones desarrolladas ⁴⁵. El análisis que hace Freeman de la industria química y electrónica concluye que en gran medida ha dominado la ciencia básica como exógena al proceso económico y que solamente en las décadas de los sesenta y los setenta la investigación echó raíces en la industria a través de los centros de I y D. Lo anterior corresponde al modelo I y II de Schumpeter (ver diagramas en el siguiente capítulo).

El análisis de Freeman y sus colegas tiene varias características que lo diferencian de los demás análisis de largo plazo. Por un lado, con cierta tradición neokeynesiana y retomando los ciclos de largo plazo, enfrenta la política económica de corto plazo con problemas de acumulación y desempleo en las diferentes fases del ciclo. Por el otro, incorpora los cambios tecnológicos a su análisis los cuales otros autores trabajan en forma separada. Por estas dos razones sus investigaciones son refinadas y pretenciosas, pues no solamente interesa la explicación del ciclo de largo plazo sino su interacción con las decisiones de las empresas a través del análisis de las innovaciones y la política económica de corto plazo del control de la demanda y el nivel de los precios ⁴⁶.

En la posguerra se reconocen modificaciones en las tendencias de generación del empleo, la productividad, y la producción. Las explicaciones al respecto radican en la composición de la estructura industrial y el comportamiento de la demanda. El primero, debido principalmente a un proceso de concentración y a un esquema de innovación (modelo II a diferencia del I), permite que las empresas conserven sin mayor dificultad la

⁴⁵ Según C. Freeman, antes de la segunda guerra mundial, la ciencia básica jugó un papel determinante en la consecución de las innovaciones, sobre todo en la industria química, farmacéutica y petroquímica. Posteriormente, los nuevos desarrollos asociados a las innovaciones en la electrónica y aplicaciones de la física del estado sólido producen un crecimiento sostenido entre las décadas de los cincuenta y los sesenta.

⁴⁶ Durante los años cincuenta y setenta, la tasa de desempleo tendió a incrementar en los países industrializados. De acuerdo con modelos efectuados (Salter, Wragg y Robertson) se desprende que los cambios en la productividad y los cambios tecnológicos se asocian en general a un patrón de tasas de crecimiento crecientes del desempleo, y, cuestión importante, los beneficios provenientes de los incrementos en la productividad no se ven necesariamente acompañados de precios bajos. Los impactos en la economía, ya sea a través de incrementos en la ganancia, en los salarios o afectando los precios, desde luego son diferentes. Bajo el punto de vista de la distribución del producto, el incremento de la productividad y su traslado a precios bajos es más contundente sobre la demanda y el empleo, que cuando los otros dos se ven afectados. Así, si en la parte del ciclo donde la competencia es mayor y donde la sobrevivencia de las empresas es importante, los incrementos en la productividad principalmente por inversiones en I y D, imitaciones, suministros, etc., no tan fácilmente implicarían precios bajos. De acuerdo con Salter y otros estudios, a las empresas les interesa en todo caso tener las ganancias en la empresa que repartirlas en la economía con la consecuencia de no tener un beneficio directo y tangible. Desde luego que el efecto de incrementar salarios altos a todos los niveles consolida a la empresa mediante una mayor integración entre empresarios y trabajadores. Lo anterior se da porque la empresa en todo caso prefiere consolidarse y trabajar con los trabajadores en la lucha por la competencia mediante un aumento de la productividad.

ventaja de la innovación, o la prolonguen a través de pequeñas innovaciones. El segundo, afectado por la posición de ventaja de las empresas y por mantener la innovación, pudiera preferir incrementar salarios antes que afectar los precios de la economía y de esta forma afectar la elasticidad del precio de la producción. Así, los incrementos en los precios para Freeman se pueden explicar por el hecho que los ritmos de crecimiento de la productividad son menores que los de los salarios⁴⁷.

El otro elemento de acuerdo con Freeman se relaciona con cierto ajuste de la elasticidad precio de la demanda afectada principalmente por un cambio mayor en la elasticidad ingreso de la demanda proveniente de una sensibilidad menor hacia los precios y una mayor hacia los ingresos dados los incrementos en los salarios.

Freeman critica severamente la propuesta para revertir el crecimiento de Pasinetti cuyo análisis basado en un esquema nekeynesiano pretende dar respuesta al problema de la insuficiencia de la demanda a través de la satisfacción de las nuevas demandas mediante el aumento de la tasa de aprendizaje de las empresas. Este último punto, un tanto inconsistente para Freeman, hace que el análisis se centre en el tamaño y la diversificación de las empresas⁴⁸. Para Freeman se trata de soluciones diferentes a pesar del acuerdo en muchos puntos sobre las causas de la baja en la actividad y el carácter del problema en sus raíces. Desde el punto de vista de Freeman, en la solución a la restauración dominan la ruptura del papel del empresario emprendedor, y los cambios radicales de las innovaciones independientes de las empresas. Quizás el protagonista del argumento de Freeman es el advenimiento de otro tipo de empresas como las que surgen en los parques tecnológicos. Sin embargo, también se puede decir que la tendencia en la administración gerencial de las empresas es sustituir al empresario fenómeno, pues los sistemas de información, la consultoría constante y la retroalimentación a través de estudios especializados sobre el seguimiento de la empresa, hacen que la planeación gerencial sea más dinámica y pueda enfrentar problemas que antes se resolvían desapareciendo del mercado. La planeación gerencial se convierte así en una planeación dinámica capaz de enfrentar situaciones

⁴⁷ Pasinetti, (1982), ha contribuido enormemente al comentar que este diferencial en la productividad, cuando se enfoca a bajar precios, la única alternativa posible para mantener una distribución de los recursos de manera eficiente es a través de modificar el nivel general de los precios. Por lo tanto, cualquier intento por mantener este nivel basado en la ortodoxia monetarista acarrearía en el largo plazo mayores distorsiones en los precios relativos, desincentivando la inversión y en general todo el proceso de incrementar la productividad aunque en el corto plazo se restaure cierto equilibrio.

⁴⁸ De acuerdo con Freeman: "De hecho, la cuestión importante es si serán las empresas pequeñas pero altamente innovadoras, más que las grandes empresas multiproductos, las que realmente estén preparadas para asumir riesgos y entrar en mercados nuevos e inciertos..." (p 143)

adversas⁴⁹. Esto, en el fondo, podría equivaler al empresario que emprende y se arriesga; o quizá sea su nueva versión. Si es así, se hablaría de una evolución del empresario en el modelo schumpeteriano.

III Cambios estructurales y crecimiento

A nivel internacional, antes de comenzar este último cuarto de siglo, ya se habían deteriorado la prosperidad y el beneficio de las economías, además del crecimiento de la producción. Después de un crecimiento sostenido, desde antes de los años cincuenta hasta principios de los setenta (1948-1973), la economía mundial disfrutó del crecimiento del empleo y de una mayor riqueza de las naciones. Por supuesto, las diferencias entre los países son muy notorias, y aún nos amenazan la inestabilidad, la inflación, y el estancamiento⁵⁰. A nivel regional, el riesgo corrido por los países no industrializados dependió de la materia prima que exportaban. Desafortunadamente, aunque aún predomina el petróleo u otra materia prima natural, no implicó un complemento importante para las economías⁵¹.

La imposibilidad de la política económica de presentar propuestas contundentes para aliviar los problemas internacionales y nacionales ha sido objeto de críticas y llamadas de atención de otras disciplinas⁵². Dada la estructura de la ciencia económica, la política

⁴⁹ Desde luego que esto es precisamente una versión de los costos de transacción o del equipo de producción como se verá en el capítulo siguiente. Sin embargo el punto aquí es ver la magnitud del empresario emprendedor.

⁵⁰ Las causas e interpretaciones del estancamiento son complejas y difíciles de tratar en unas cuantas líneas. Es indudable que los efectos de los precios del petróleo tuvieron consecuencias profundas en el interior de las economías y en la estructura de precios. Asimismo, el manejo de la política económica para restaurar el crecimiento se enfocó, y se enfocó, en compatibilizar los desequilibrios, manejar la demanda, disminuir la intervención del estado en la producción, las políticas proteccionistas, y, en general, las políticas de estabilización. Simplemente estas dos apreciaciones pueden tener otra connotación. Por ejemplo frente a la primera se puede bien traer un esquema más completo para explicar el auge y la recesión mediante la visión de la escuela de la regulación Boyer (1988), Anghetta(1991). Por otro lado como ya se mencionó anteriormente las críticas a las políticas proteccionistas pueden bien ser contrapuestas por el enfoque de sistema mundial de Gereffi(1989,95) o inclusive en forma opuesta se puede combatir esta posición mediante la convivencia de la dualidad tecnológica y el *catch up* tecnológico de Pérez (1996).

⁵¹ Unas economías llegaron a ser ricas por el beneficio de la renta; otras, aprovecharon los mercados internos e internacionales de los productos que habían dejado de producir los países industrializados. Para así formar parte de las economías que habían logrado tasas altas de crecimiento con base en un gran nicho industrial: los aceros, la metal-mecánica, y la electrónica en su fase de menor valor agregado. Países como Taiwan, Singapur, Corea, y Hong Kong se incrustaron en el gran nicho con ventajas comparativas superiores a los industrializados. Son varios los países que se podrían considerar como experimentadores de fenómenos similares de acuerdo al nicho a explotar y a la ventaja natural. Sin embargo, en general, el detrimento fue mayor y muchos sufrieron un decaimiento. Otros más numerosos, los que forman la lista de países menos industrializados, reflejaron poco impacto a pesar de que, por su atraso, lograron crecimientos considerablemente mayor al promedio.

⁵² La facilidad con la cual esta disciplina es sujeto de críticas y comentarios se debe en cierta medida a que afecta directamente a segmentos de consumidores. Por otra parte, han sido ya muchos los comentarios en torno a la efectividad de la ciencia y, por supuesto, de los que la hacen, para resolver problemas. Esto proviene desde la consistencia de la teoría en sí misma.

económica es la que ha absorbido los ataques de los incrédulos de la disciplina, pues es con esta parte de la teoría con la cual se tiene contacto abierto.

La exacerbada atención a los problemas de corto plazo ha dado como resultado que la política económica dominante consista en manejar correctamente la demanda, y, en todo caso, la discusión de fondo se ha centrado en las diferencias entre los nekeynesianos-estructuralistas y los monetaristas.⁵³ Ahora, si la política económica recomendada se ha centrado en un manejo cuidadoso de la demanda, para sentar las bases y restaurar un crecimiento equilibrado, se le podría entonces considerar como el instrumento de corto plazo para lograr cierta continuidad de la inversión. Desde este punto de vista, tanto el problema de la insuficiencia de la demanda como el de la magnitud y la estructura productiva del capital siguen siendo el punto central de la discusión, ya que los cuellos de botella a resolver son la insuficiencia de la demanda agregada de bienes y servicios, los desequilibrios de la fuerza de trabajo, y las limitaciones de la capacidad productiva para resolver problemas de incrementos en la producción. Desde una perspectiva global, todo esto representa el carácter estructural de la recesión, en su enfoque de pleno empleo y de capital fijo⁵⁴.

La política económica, sin embargo, no ha avanzado en resolver problemas de crecimiento e industrialización; ha fallado en la restauración. Esto no quiere decir que el

exclusivamente como problema económico, hasta abordar los problemas económicos con otras disciplinas como la política, la sociología, la ecología y repercutiendo desde luego en países centralizados y mixtos.

⁵³ No se puede entender la estabilidad de las economías, sin un concepto de cuentas claras y sanas, fundamento de los negocios a nivel global: pérdidas y ganancias económicas contables. Las diferencias entre los enfoques radican en la determinación del nivel de actividad, inversión, causalidad, nivel de precios, dinero, etc. En general, no se duda de los beneficios que pueda acarrear el saneamiento de una economía; pero puede ser trivial cuando se presentan otros problemas y acontecimientos.

La atención predominante a mirar lo que se ve, el corto plazo, proviene de:

- i) El hecho que la economía positivista en lo fundamental sea consecuencia de una filosofía liberal. Su método de investigación científico es causal. El marco de referencia neoclásico no proporciona, ni se lo plantea, mayores interrelaciones con otros problemas que se abordarían mejor con otras disciplinas, presentando así fuertes limitaciones en estos temas. Como consecuencia, no se requiere de una visión más amplia ya que lo que se intenta resolver son problemas que presentan solución. Es decir, casi ningún problema se deja de resolver porque entonces ya no sería problema.
- ii) Lo anterior es posible porque la solución a los problemas está delimitada. Existe un concepto del problema a la par que uno de la solución. Es decir, no se permiten problemas insolubles.
- iii) Evidentemente crea puntos encontrados en toda la economía: los efectos que tienden a desequilibrar. La aplicación de cualquier instrumento de política económica tiene efectos sobre otros, efectos irreconciliables pero aceptados.
- iv) El método de explicación se combina con el de otras áreas de estudio. En especial el de las ingenierías que requiere de precisión para que tenga sentido la solución. Sucede algo semejante en otras disciplinas que hacen que tengan complementariedad en cuanto a concebir y atacar el problema.
- v) Asimismo el desarrollo de ciertas técnicas ha hecho que los problemas puedan ser resueltos de manera más rápida, veraz, y exacta. Esto desde luego es una contribución importante pues da solidez y, aunque se distancien más por explicaciones referidas a los "porqué", se consolidan y hegemonizan las directrices del conocimiento, contribuyendo de esta manera a predominar e interpretar problemas, y generando mayor conocimiento e instrumental para resolver los problemas que la misma ciencia genera. De esta forma, lo que en todo caso antes no se podía resolver correctamente pero se aceptaba, ahora se puede resolver y, por lo tanto, es menor la dependencia de las explicaciones que podrían ubicarse entre los "porqués".

⁵⁴ Son muchos los economistas que han centrado su atención en estos temas y en especial en el desempleo a largo plazo, todos bajo una perspectiva de rezago en el capital e inversiones, e involucrando así un problema de acumulación.

avance de sus paradigmas en sus propios términos no signifique nada. Este avance ha servido, como en cualquier ciencia. Pero para restaurar un crecimiento estable y distributivo se requiere de otros aspectos. Tal vez se pueda decir que el avance no ha llegado a resolver la actual situación. Por un lado, las dos posiciones de la política económica no han sido tan antagónicas y lo que se tiene es tan solo una crisis (la actual) que está en una parte del ciclo largo en la cual no son adecuados los instrumentos de la política económica, ya que no se dan las condiciones para su revitalización y empleo. Por el otro, se podría argumentar que ha fracasado la política económica. Esto implica aceptar que en sí existía una gestación de conocimiento autónomo, independiente de otras ciencias, capaz de resolver el problema de la recesión y, de haber tenido éxito, tendría menos importancia la explicación del ciclo largo como tantas explicaciones de hechos que no llegaron a dominar.

La situación a que se hace referencia tiene muchos matices: problemas globales, sectoriales, regionales, entre países. Puede ser que la política económica de manejo de demanda ya haya acumulado conocimientos para encarar diferentes situaciones y que se resuelvan fácilmente los problemas de inflación y crecimiento sostenido pero limitado. Desde luego que cuentan las diferencias entre países y habrá casos con altas tasas de crecimiento, como China, y casos donde apenas se supere al crecimiento natural de la población, como es el caso de la mayoría de los países industrializados. Sin embargo, estas diferencias pueden estar en función de que tanto se llegue a completar un estado básico de requerimientos mínimos de infraestructura. Si es así, entonces otros países tendrían mejores oportunidades para crecer, al menos con una mayor tasa que los posindustrializados. Pero si bien esto es ambiguo, ya que el tamaño de la economía medido en términos de la producción cuenta mucho, no cabe duda que hay economías pequeñas que han cubierto una infraestructura más que mínima y experimentan altas tasa de crecimiento. De cualquier forma, el énfasis está el papel que juega la política económica en controlar y resolver el problema de la inflación y el crecimiento.

Pero la cuestión del crecimiento no es la única. Uno de los lados débiles de la política económica dominante es su tenue ímpetu por atender demandas de empleo, distribución, concentración, regulación trunca, medio ambiente, producción de bienes y servicios hostiles⁵⁵, y bienestar. La estructura productiva que ha generado tal política económica es tal, que se ve francamente poco apta para que por sí sola pueda resolver estos problemas que al final de cuentas son lo que más importa. Tal vez es por esto que se mire

⁵⁵ Referido a la producción de armamento, a la producción de estupefacientes, producción de informática anti-infantil, y en menor escala tráfico de especies y órganos y partes humanas.

ya con cierto temor e indiferencia los beneficios que trae consigo una política de ajuste (en un futuro inmediato). Pero a pesar de esto difícilmente se debe retractar ante los avances de la política macro y más bien se debe continuar con nuevas formas que aborden los problemas nuevos (o incluso viejos). Si bien es reprobable el poco interés de la política de libre mercado por atender problemas como los mencionados, es doblemente erróneo desperdiciar lo ya caminado y experimentado.

La cuestión del crecimiento y la productividad creciente no se ha sabido interpretar en términos de la estructura productiva entendida como el conjunto de empresas y servicios que crean empleos productivos pero a la vez no lo suficiente y en cambio si con un gran potencial para aumentar el desempleo. Existe la perversión de confundir con dolor los beneficios de la política económica y el dramático crecimiento del sector servicios y las pocas alternativas que quedan a los desempleados para que antes de entrar al ejército de desempleo se ubiquen en los servicios. Si es así, pronto los empleadores de los servicios lo dejarán de hacer. El caso patético es la economía de los Estados Unidos que incorpora cada vez más mano de obra a servicios personales con el peligro de que merme el nivel del servicio dada la tasa de mortalidad y la reducción cada vez mayor del empleo manufacturero. En otras palabras no se sabe si la actividad servicios siga a expensas de la manufactura o se vuelva autónoma. Aunque han crecido los servicios profesionales, financieros, de informática, en estas, ramas de todos modos, debido a esta última hay expulsión y los servicios de segunda (como el de asistentes personales y domésticos) siguen funcionando como refugio de las mayorías.

La terciarización de las economías es una cuestión que preocupa a sociólogos y a políticos. Sin embargo, desde el punto de vista económico, ésta tiene un lugar en la economía y para nada un tercer lugar. Esta cuestión tiene relevancia ya que no se conocen las transformaciones de las economías con certeza. Simplemente se llega a un resultado y luego se analiza pero de ninguna manera se conoce el impacto que pueda tener una u otra política económica determinada. Como se mencionó anteriormente, las preocupaciones y los esfuerzos por atender problemas de inflación y crecimiento fueron tan avasalladores que se olvidó considerar los impactos en las nuevas estructuras de producción, la composición de los sectores, el cambio en los balances entre producción y consumo no sólo a nivel global sino a nivel sectorial. Si bien se analizaron a nivel regional, estos siempre han dependido de la política macroeconómica. Incluso esto último ha sido una cuestión de estatus entre economistas; la supremacía por atender problemas con una visión macro. Otras vertientes

pierden sentido e importancia. Hoy se le da su lugar, se reconoce la economía industrial pero en gran parte con respecto a su capacidad para incidir en cuestiones estructurales.

Uno de los objetivos de analizar cuestiones como el crecimiento y la productividad es en parte encontrar el papel que juegan los cambios tecnológicos. En las dos secciones anteriores se discutió el crecimiento: primero evaluando el protagonismo de los cambios tecnológicos a nivel agregado y posteriormente, como explicación de los ciclos largos. ¿Como se puede interpretar la inserción de ambos en la estructura productiva? ¿Como habría de explicarla? Es evidente que en un periodo algunos sectores dan cuenta de un mayor crecimiento que otros, que unos generan un tipo de consumo, que otros expulsan más mano de obra, que otros se combinan mejor entre sí debido a una relación diferente a la comercial, administrativa, o estratégica. Unos producen y otros explotan innovaciones, y, a todo esto, unos se benefician más que otros. Hay sectores nuevos, hay industrias que se transforman y otras que hasta desaparecen. En muchos casos el nombre de la empresa deja de producir un bien y cambia a vender un servicio bajo el mismo nombre y clasificado para fines económicos con el mismo criterio que antes. Es decir, en términos contables no desaparece del mercado, pero si se puede deshacer del equipo y de parte del personal. ¿Cómo interpretar estos cambios que al final reflejan lo macro: insuficiencia de la demanda, rezago del capital, sustitución de factores etc..?

Se ha avanzado en el conocimiento de los cambios tecnológicos pero no lo suficiente para enfrentar problemas incipientes. Tal vez porque anteriormente no se estudiaba la tecnología en sus propios términos ahora el conocimiento actual nos puede parecer enorme. Sin embargo, una medida puede ser conocer todo los apéndices de los cambios tecnológicos con los diferentes postulados de la teoría económica. Aunque este tema es el que se analiza en el capítulo 3, lo que importa decir ahora es que a pesar de los avances en la indagación acerca de la procedencia de los cambios tecnológicos, para tener una aproximación diferente de la que se ha tenido con la política de crecimiento, importa conocer los efectos de estos cambios tecnológicos sobre la estructura productiva; la estructura productiva compuesta por industrias que tienen una relación de intercambio de bienes y servicios.

Se requiere conocer mejor cómo se dan las transformaciones de la estructura productiva a consecuencia de los cambios tecnológicos para así mejorar la política macro. Estas no se pueden aislar aunque se les formule con paradigmas diferentes. No basta la dirección opuesta, es necesario indagar acerca del sentido de las transformaciones

productivas, es decir, las relaciones técnicas entre las industrias y su conexión con los cambios tecnológicos; ¿Cuáles son las leyes que gobiernan no sólo los cambios sino la forma de los resultados?, ¿En que medida afecta uno u otro cambio tecnológico? y ¿En qué medida afecta el cambio tecnológico al empleo, la nueva estructura de consumo y de distribución?

En general y en el caso particular de la economía mexicana los análisis que tratan los cambios estructurales a diferencia de los analizados mediante la matriz insumo producto no atacan el problema estructural como objetivo sino de referencia para indicar que de alguna manera ha habido cambios. Estos estudios van desde los que analizan a nivel agregado hasta por sectores. En todos ellos las preocupaciones se centran en un problema particular macroeconómico, de política industrial, de evaluación de programas, de reformas. Desde luego que si la economía crece y se tienen políticas para fomentar el crecimiento, habrá cambios en la economía y aunque se pueda inferir un concepto de cambio estructural este variara de estudio a estudio. Por esta razón se tiene el interés por una explicación mas autónoma de cambio estructural mas generalizable basado en los cambios tecnológicos ya que es el vinculo natural que explica un crecimiento de la economía.

El cambio estructural analizado con la matriz insumo producto proporciona bases de análisis para desarrollar un concepto mas acabado de cambio estructural. Este análisis ha tenido mayor relevancia a partir de los trabajos de Leontief. Sin embargo como es sabido presenta ciertas limitaciones dado el nivel agregado de la industria lo cual es necesario para el manejo de la información. Los coeficientes técnicos de la producción son un reflejo de la estructura productiva ya que representan la relación con los otros sectores de la producción y resumen la tecnología utilizada⁵⁶. Sin embargo no proporciona elementos para entender el génesis de los cambios tecnológicos porque en si es un análisis que se inicia una vez que se da la relación técnica y no antes. En este sentido no ayuda a analizar el rompimiento que se tiene que hacer para analizar los procesos que toman parte en la manufactura de bienes. Esto es, porque principalmente, las industrias están organizadas con base en la sustitución del producto en el mercado y no corresponden a una organización por procesos y porque la cuestión del génesis de la

⁵⁶ Un aprovechamiento en este sentido contiene información de las interrelaciones entre sectores y ramas industriales ya que vincula a las industrias con base en una relación técnica medida a través de valores en las transacciones comerciales que se dan entre diferentes entidades económicas.

relación técnica esta en la frontera de lo que puede ser la producción vista técnicamente y la producción vista económicamente. Pero cuando interesa la cuestión de la estructura productiva y sobretodo cuando se evidencia el fuerte vinculo de dependencia que se tiene con la dinámica de la relación técnica entre los procesos que se llevan en la producción en las industrias, entonces el aprovechamiento de insumo producto no explica el génesis del cambio estructural⁵⁷.

No es fácil desenmarañar la estructura productiva. Intervienen muchos factores, y uno de los cuales, los cambios tecnológicos, son en sí otra maraña a desenredar. Tal vez sea mas complicada ya que se conoce menos y existen no solamente elementos del mercado sino elementos sujetos a una lógica y dinámica diferentes. Por esta razón el tema de la estructura productiva es en sí un tema de cambios tecnológicos ya que existe una gran interdependencia entre uno y otro.

Una forma ventajosa para analizar la estructura productiva es analizarla a través de las relaciones técnicas ya que de esta manera se enfrenta de paso el problema de analizar los cambios tecnológicos separando las fuerzas del mercado. Esto es de hecho una hipótesis: si la separación tiene consistencia, el papel del mercado es débil en influir no solo sobre los cambios tecnológicos, sino en determinar la estructura productiva resultante. Si no es así, si las fuerzas autónomas no tienen injerencia dominante, entonces no resulta efímera la supremacía de las fuerzas del mercado.

IV Conclusiones

Los cambios tecnológicos se analizan en dos capítulos. En este capítulo se dio una visión de conjunto y es por esto que se organizo en tres subtemas. En el capítulo siguiente se analiza con mas detalle algunos aspectos a nivel microeconómico e inter-industrial y

⁵⁷ La cuestión del cambio estructural analizado a través de la matriz I-P apenas se empieza a desarrollar. La prueba es que apenas escuchamos de índices de cambio estructural con base en la matriz I-P. La cuestión de resumir en un índice o varios índices al cambio estructural es un tema de agenda que se atiende por economistas especializados en el I-P. Al respecto se puede ver el análisis de triangulación para analizar los cambios estructurales de la economía mexicana en los periodos 1970-80 por Aroche (1995). Este análisis demuestra lo comentado al inicio, es decir presenta poderosas bases para entender los cambios en la estructura productiva. Los resultados que obtiene el autor denotan las transformaciones de algunos sectores productivos, las transformaciones de los sectores frente al exterior. Sin embargo dos problemas pesan notablemente. En primer lugar como lo menciona el autor los algoritmos necesarios para hacer la triangulación de 72 sectores no son perfectos, algunas industrias son altamente reciprocas y en segundo la información que se maneja tiene por lo regular retrasos de mas de diez años.

tecnológicos, implicando así una mayor estrechez y precisión en la temática de cambios tecnológicos.

La organización de este capítulo se basó en los grandes temas que se han discutido en la teoría económica y pretendió tan solo ubicar a la tecnología en forma escueta con tres cuestionamientos centrales: crecimiento, ciclos largos y estructura productiva. Es evidente que la literatura en cada uno de estos tres temas ha tenido una diferente predilección por los economistas. La teoría del crecimiento es un tema central y muy vasto ya que ha sido estudiado desde los economistas clásicos y hoy cubre una mayor diversidad temática. Es evidente que una investigación de este tipo no puede tener como eje central toda la temática de la teoría del crecimiento. Sin embargo el tema de crecimiento se estudia como consecuencia directa de analizar el génesis de los cambios tecnológicos. De esta forma solamente se analiza aquella parte del crecimiento vinculada con los cambios tecnológicos y por lo tanto no se ven muchos aspectos sobre todo relacionados con las cuestiones del desarrollo como un concepto más amplio o inclusive con los temas de debate actual acerca de la convergencia, rendimientos crecientes etc.. Así se piensa que desde la perspectiva de la teoría del crecimiento y desarrollo parecería que habría muchos faltantes pero no los hay en la medida en que se centre en la vinculación directa entre productividad, cambios tecnológicos y crecimiento.

El tema de ciclos largos es a otra escala y es una partitura de la teoría del crecimiento y la relevancia que tiene con los cambios tecnológicos la hace importante para explicar el siguiente ciclo largo. Su vinculación con las crisis y la visión de largo plazo son los factores que motivan para introducir el papel de los cambios tecnológicos radicales e incrementales, las trayectorias tecnológicas y los paradigmas tecnoeconómicos. Así una explicación de la crisis que se vive puede explicarse a través de este ciclo el cual está fuertemente vinculado a cambios tecnológicos y su repercusión en la estructura productiva.

Este último aspecto retoma la cuestión de los cambios estructurales donde a la vez que existe una enorme literatura que trata los cambios en las economías no existe como una teoría en sí, y en cambio, es necesaria para entender las transformaciones de la economía. Por esto uno de los objetivos en esta investigación es poder avanzar sobre la relación de los cambios tecnológicos y las transformaciones de las industrias como fundamentos para desarrollar una teoría de los cambios estructurales.

Productividad y crecimiento. Lo que se ha querido resaltar además de los incrementos en la productividad y los diferenciales entre países y sectores son las causas que

provocan incrementos en la productividad y los efectos que se dan por estos cambios en la productividad. Cuando se analizan dinámicamente hay una retroalimentación en el sentido de que los mismos efectos que se dan por el incremento en la productividad son a la vez un potencial para incrementar la productividad. Es decir los efectos son también la causa⁵⁸.

El aprovechamiento seguido no busco refugiarse en uno neoclásico aunque resulta a veces difícil no aprovechar o escapar del bagaje metodológico. A lo largo del capítulo se presentaron diferentes situaciones donde la productividad se incrementa y precisamente no en todas el enfoque tradicional puede representarlos. Se tienen diferentes aspectos que van desde países posindustrializados, industrializados y en proceso. Se tienen diferentes sectores donde la productividad es mayor, se tienen diferentes tecnologías para producir; unas más modernas que otras, muchas no existen en los menos industrializados y también otras no existieron ni existen en los industrializados. Existen diversos aspectos para la concepción de un cambio tecnológico que no se logra con el análisis tradicional y que ha sido tema de discusión y discrepancia y al mismo tiempo ha generado otros aprovechamientos basados en enfoques evolucionistas.

La vinculación cambios en la productividad y cambios tecnológicos no es fácil de plantear porque de la primera hay una concepción clara, lógica y sencilla mientras que la segunda es algo que se intuye. En la primera su referencia esta basada en la idea de un rendimiento de los factores de la producción medido en valores. Esto desde luego puede tomar la forma de una función de producción con gran aplicabilidad y sencillez. En cambio los cambios tecnológicos no son tan fácilmente comparables porque su concepción no solo parte de una base económica sino técnica. La solución neoclásica se baso en considerar un nivel tecnológico y además separar la productividad de cada uno de los factores y la diferencia la atribuyo a cambios tecnológicos pero todo medido en valores. Pero al hacer esto no se deja espacio para medir la productividad en otra instancia que no sean valores económicos ya que desde su formulación no entraba dentro de los propósitos desde la perspectiva técnica. En segundo, en términos tecnológicos el famoso residuo se volvió más inconmensurable ya que si bien la productividad de los factores es medido en valores ahora habría que agregar algo no conocido (al menos como la productividad de los factores). O sea por una parte como consecuencia de lo explicado por los factores y por otra por ser el mismo un residuo inexplicable. Desde luego que siendo el objetivo la teoría del crecimiento

⁵⁸ Esto no puede ser distinto al enfoque de competencias entre tecnologías donde B Arthur (1988) ha tratado el tema bajo self-reinforcing Mechanism y Lock-in.

y suponiendo una exogeneidad en la tecnología no habría que preocuparse por lo técnico⁵⁹.

Lo anterior hace que no se tenga una referencia conceptual entre productividad y residuo para analizar a que se deben los cambios en la productividad. En este capítulo no se discrepa de las aportaciones a la teoría del crecimiento por parte de Solow quien en mucho ha contribuido para entender el papel de la tecnología en este tema, e inclusive la consideración de la tecnología como endógena. Sin embargo cuando las economías son heterogéneas tecnológicamente el residuo inexplicable habla por si mismo. La prueba es que todavía no comprobamos que la economía mexicana por ejemplo ha tenido un componente tecnológico importante en su crecimiento que hable de que no solo estuvo ocasionado por la reproducción de los factores como los únicos responsables en el crecimiento. Inclusive bajo la sospecha de que no solamente teniendo industrias que estarían en una posición como para crecer con cambios tecnológicos sino que inclusive a otro nivel tecnológico pudiera existir un cambio tecnológico. Este es un problema real. No saber si industrias con tecnologías diferentes a las de los países industrializados son capaces de tomar otra dirección mediante poder generar un cambio tecnológico.

- c) Si bien subsisten problemas en la cuantificación del aporte de la productividad y de los cambios tecnológicos al crecimiento (es decir, en qué proporción las innovaciones afectan a la productividad y al crecimiento) no se puede dudar de su importancia. De hecho la investigación ha pasado a encontrar otras formas de medir los cambios tecnológicos y quizás sea en este punto donde hoy se centre la discusión. Se requiere dar respuesta a la misma pregunta: ¿en cuánto contribuyen al crecimiento? ⁽⁶⁰⁾
- d) Es muy difícil llegar a descifrar los cambios que ha sufrido la economía mundial. Sin embargo, es importante hacer notar que los paradigmas teóricos de la política económica difícilmente pueden restaurar el crecimiento, el empleo y la distribución. Esta mayor diferencia se deriva de situar la actual situación como un problema de largo plazo conjuntado con problemas de demanda. Por lo tanto, en términos macroeconómicos, la política de manejo de la demanda en exclusiva difícilmente puede incentivar la producción sin generar mayores desequilibrios en el empleo y el bienestar. Esto es porque se acepta de

⁵⁹ De hecho otros modelos que han incursionado en la teoría del crecimiento y en la incorporación de la tecnología como endógena han incidido en un nivel tecnológico y un factor como el capital (guardando relaciones proporciones fijas entre capital y trabajo) como el modelo de Rebelo (1990). En otros como puede ser el Mankiw (1992) se basa en la incorporación de el capital humano pero con rendimientos decrecientes. este es una extensión al modelo de Solow.

⁶⁰ En el caso de México, al igual que en los países en proceso de industrialización, el problema no solamente se centra en encontrar una medida consistente sino entender los procesos que se dan para que ocurran los cambios tecnológicos dadas las diferencias estructurales, la diversidad de tecnologías locales y las (ya conocidas) de los países industrializados

hecho que los cambios tecnológicos afectan burdamente al crecimiento, y, en todo caso, a los retrasos y las inflexibilidades de los factores de producción, además, en gran medida están condicionados por las innovaciones sobre las cuales influye el proceso productivo en forma retroalimentada. La teoría de crecimiento endógeno presenta muchas perspectivas pero también muchas interrogantes para afirmar que el crecimiento de las economías puede estar regulado por un fomento a las inversiones en investigación y desarrollo, educación y entrenamiento. Esto porque no se garantiza tanto la persistencia de los rendimientos crecientes y sobretodo la de un ambiente abundante para apropiarnos de innovaciones radicales y continuas. Por otra parte, los ciclos largos concuerdan más fácilmente con un problema de acumulación ya que se ha visto una fuerte relación entre las innovaciones mayores y la periodicidad de los ciclos. Es así que se puede entender mejor una apreciación más estable de lo que significa el cambio estructural con el papel que ejercen los cambios tecnológicos en la producción y el crecimiento (dispersos por sectores, regiones, países, a diferentes niveles de profundidad, y mayores grados de independencia). Cambios estructurales, estructura productiva son términos que reflejan las transformaciones de las economías pero que no se explican por si mismo. Cuando se vincula con los ciclos largos, es decir cuando se trata de interpretar las fases de ciclo en términos de las industrias, o en términos de los factores no hay mejor refugio que expresarlos como cambios estructurales. En las industrias se analizan sus transformaciones y en los factores se analizan los retardos, la productividad.

El manejo de cambios estructurales en economía es muy vasto y es necesario analizar las bases para un desarrollo mas acabado de cambios estructurales. Esta es una propuesta en esta investigación la cual no solo se observa del manejo indiscriminado que se le da al termino, sino que a su vez este manejo connota categorías importantes para el análisis económico. Es por esta razón que una forma de analizar los fundamentos de lo que sería una teoría de cambios estructurales debe basarse en los cambios tecnológicos. Visto como industrias el análisis dinámico de la estructura industrial no tiene mejor refugio que el análisis de los cambios tecnológicos. Visto como factores productivos, la productividad no tiene mejor explicación que los cambios tecnológicos. Esto es lo que hemos aprendido de la evolución de la teoría económica. Sin embargo el análisis de cambios estructurales como consecuencia de cambios tecnológicos no puede entenderse sin explicaciones que no vayan al fondo del análisis de los cambios tecnológicos. De esta manera difícilmente se puede evitar la discusión del papel de los cambios tecnológicos en los procesos dinámicos:

Antecedentes: crecimiento, ciclos y estructura productiva

crecimiento, ciclos, transformaciones de las industrias, de las firmas, del trabajo, de la productividad. El análisis de los cambios tecnológicos es un aspecto importante para entender las transformaciones de las estructuras productivas. Por esto en el siguiente capítulo se analiza con mayor detalle los cambios tecnológicos.

| | | Cuadro 2-3 | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|---|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|--|--|--|--|--|
| | | Razones de Productividad Estados Unidos | | | | | | | | (Tasas promedio de cambio %) | | | | | |
| | | Periodos | | Subperiodos | | | | | | | | | | | |
| | | 1919-1948 | 1948-1969 | 1969-1973 | 1948-1953 | 1953-1957 | 1957-1960 | 1960-1966 | 1966-1969 | | | | | | |
| Producto Real | 3.8 | 2.8 | 3.9 | 3.8 | 4.6 | 2.5 | 2.6 | 5.2 | 3.4 | | | | | | |
| Producto Real por unidad | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trabajo (hrs) | 2 | 2.2 | 3 | 2.9 | 4.1 | 2.7 | 2.6 | 3.6 | 1.9 | | | | | | |
| Capital | 0.5 | 1.6 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | -1.2 | 0.3 | 1.8 | -1 | | | | | | |
| Factor Total | 1.3 | 1.8 | 2.3 | 2.1 | 2.8 | 1.9 | 2.3 | 2.9 | 1.1 | | | | | | |
| Fuente: Kendrick (1972) | | | | | | | | | | | | | | | |

Cambio técnico y trayectorias tecnológicas

En el capítulo anterior se analizaron las relaciones que hay entre el crecimiento económico a través de la productividad y los ciclos con la estructura productiva. Se vio la necesidad de investigar más fondo los efectos en la estructura productiva ocasionados por el crecimiento y los cambios en la tecnología. Se introduce el carácter exógeno de las innovaciones mediante planteamientos evolucionistas y se refieren a las trayectorias tecnológicas y a los sistemas tecnológicos para relacionarlos con los ciclos largos. Las innovaciones no se diseminan en la economía de forma uniforme. La esencia del planteamiento de los ciclos largos estriba precisamente en la tasa de discontinuidad en el tiempo de las innovaciones, debido a que dependen en buena parte de fuerzas autónomas, lo cual provoca un movimiento irregular que depende de los ciclos de vida tanto de los productos, procesos y materiales. Esta discontinuidad en términos de los cambios tecnológicos hace que se requiera de tiempos y espacios para que las tecnologías crezcan y maduren, e impacten a las demás industrias fomentando así períodos de crecimiento y de depresión. El entendimiento de las fuerzas que actúan sobre las innovaciones, ya sean incrementales o radicales, se puede interpretar mediante trayectorias tecnológicas que a su vez se explican principalmente por una tendencia a lograr la eficiencia del diseño, por paradigmas tecnológico-económicos y paradigmas científicos. La consideración y el reconocimiento de esto como central para representar los cambios tecnológicos son uno de los ejes para interpretar la exogeneidad de las innovaciones. Esto es quizá el tema del debate actual ¹. En todas las teorías hay discusión y sería vano dar por terminada una taxonomía que relacionara las industrias con las innovaciones.

Esta parte constituye una revisión de la literatura reciente del pensamiento económico sobre los cambios tecnológicos. Es bien sabido que el progreso técnico es contemporáneo de las inquietudes de los economistas clásicos. Existe una importante diferencia entre la forma y la magnitud del proceso económico como orientador del

¹ Mientras algunos consideran la teoría evolucionista a secas, sin relacionarla con los ciclos, otros han trabajado por un reagrupamiento más empírico de las innovaciones tratando de elaborar una teoría de los cambios tecnológicos.

progreso técnico y viceversa. En una primera parte se analiza el tratamiento que ha tenido la cuestión tecnológica en el análisis económico así como la misma teoría económica acerca de la naturaleza de las firmas y los cambios tecnológicos, el sentido y los efectos de la apropiación, los métodos, y los procesos de difusión. En todo esto se revisa una cantidad creciente de artículos y a pesar de esto otros se dejan de cubrir pero de manera selectiva y al alcance. En la segunda sección se analiza las trayectorias y los mecanismos de expulsión de las innovaciones. También se revisa los agrupamientos de innovaciones y una propuesta que sirve de base para los análisis de los capítulos posteriores. Por último se hace una comparación entre los métodos de medición utilizados y se da importancia a los índices tecnoeconómicos.

I El cambio técnico en la teoría económica

1. Antecedentes

Quizás una de las mayores preocupaciones de la comunidad de economistas en los últimos años en torno a las causas del crecimiento del producto provengan de los trabajos de Solow (1957). Desde luego esta apreciación habla tan sólo de una vasta corriente dominante en términos de la función de producción neoclásica. Pero aún así, los críticos de la homogeneidad de la función de producción, al estudiarla les atrajo la explicación del crecimiento mediante los diferenciales en la productividad y sus raíces en los cambios tecnológicos.

La idea del progreso técnico es tan vieja como la teoría económica misma. Este concepto está en todas las escuelas, en los fisiócratas, en los clásicos, en Marx. En todas ellas, incluso en los neoclásicos, se tienen acercamientos: progreso técnico, técnica conocida. Detrás de esto hay una teoría, un relajamiento de una visión del problema, que de ninguna manera se ve omitida aunque sí simplificada; hecho necesario para entender y dar respuesta a otras inquietudes como: ¿para qué sirven los precios? ¿qué precios? ¿qué determina el ingreso? ¿el nivel de actividad? ¿por qué es necesario un enfoque de distribución? ¿de dónde provienen los mercados? etc. Preguntas centrales que tuvieron y tienen vigencia. Pero la técnica conocida y el progreso técnico no recibieron mejor tratamiento que los cuestionamientos anteriores. En el primero, para facilitar el problema, para apartarlo del

mundo cambiante, se necesitaba una situación estable para no incorporar mayores dudas sobre cómo interaccionan las variables. En el segundo, es evidente que el cambio técnico es homogéneo. La idea de que la tecnología es constante, no tiene cambios, y va a un ritmo uniforme, está implícita en el progreso. Difícilmente se podría indagar sobre otros problemas como la demanda para crecer y el crecimiento para ganar. Se trata de una vieja discusión que continúa, y que en su momento, el momento de los economistas brillantes tuvieron que ingeniárselas, como tantos otros científicos, para presentar un problema manejable y controlable. Sin embargo, el progreso técnico es discontinuo y es la forma como se representan las discontinuidades. Los economistas que pusieron énfasis en el largo plazo y se centraron en las crisis, como Marx y Keynes, no se acercaron a una explicación por el lado de concebir un progreso técnico homogéneo. Para muchos bastó con ubicar el origen del problema.

Productividad y mercados

Como se introdujo en capítulo anterior una cuestión que ha preocupado a muchos economistas y que ha sido fuente de distanciamiento, es cómo se incorpora el incremento en la productividad y sus causas a la teoría del crecimiento. Los estudios relacionan indirectamente la tecnología con el crecimiento, y obvian el hecho de que tanto los niveles como la tasa de crecimiento de la productividad obedecen a cambios tecnológicos. En los primeros capítulos de *La Riqueza de las Naciones* de Adam Smith se detecta fácilmente la noción de avance técnico logrado a través de la especialización y la división del trabajo. Aunque hoy resulten un tanto criticables los argumentos que da el autor en favor de esta división del trabajo, mostrando sus bondades, se considera que sí incrementa la productividad, aunque por otras causas ². Dejando de lado la consistencia de sus argumentaciones, nos interesa saber si en su modelo se asocia la productividad a una división del trabajo y sí se da en el proceso de trabajo. No se vislumbran argumentaciones a favor de una tecnología inmersa en la inversión. Por lo tanto, no se puede hablar precisamente de una teoría que explique los cambios tecnológicos, pero sí del cambio en la productividad y, en este sentido, se trata de una teoría del crecimiento. Lo que relaciona a las escuelas es precisamente esto, ya que no solamente existe en Smith el concepto de avance técnico y crecimiento de la productividad, sino también en Marx bajo la forma de

² Véase para este tema a Robinson (1960,1973). Elster (1984)

una teoría del crecimiento. Para Smith, la división del trabajo implica incrementos en los mercados y, a su vez, incrementos en la demanda, que se traducen como fuente y origen de las innovaciones.

Cuando se analiza el incremento en la productividad asociado a las inversiones, se anula la teoría de la tecnología y se entiende la automaticidad en la forma en que se reparte en los sectores de la economía. No interesan las causas del incremento en la productividad porque la tecnología se considera exógena a la esfera económica aunque al mismo tiempo se le considera inmersa en la inversión. Dos puntos que degeneran en enfoques: estudiarse por separado y juntos; es decir la tecnología por separado y la teoría del crecimiento en conjunto.

El desarrollo de la teoría neoclásica y, más específicamente, la teoría del crecimiento viene a poner en conflicto muchos de los principios en que se basa la teoría. Una de las razones que la han afectado arterialmente, en sus propios términos, es poder explicar las causas que originan un cambio en la productividad en un país, las diferentes tasas de crecimiento de ésta entre países, así como los diferentes niveles de productividad entre países. En la misma teoría se puede ver una ruptura o divorcio, ya que las explicaciones resultan más débiles y poco consistentes en torno al crecimiento del producto de los Estados Unidos por medio del residuo que las explicaciones del incremento en los insumos y los factores de la producción, es decir a lo largo de la función de producción y poco a las causas en el desplazamiento de la función de producción. De acuerdo con Nelson (1981), la discusión ha desembocado en explicar el avance tecnológico como un residuo inexplicable hasta la consideración de la resultante acumulación de capital mediante lo invertido en investigación y desarrollo, al mismo tiempo que hace este último paso intermedio en la maximización de las ganancias. Así, la conexión del incremento de la productividad con el crecimiento en general se da a nivel de la empresa³.

Carácter evolutivo e irracionalidad empresarial

Desde los economistas clásicos, y, aún mucho antes, la tecnología ha jugado un papel importante sobre todo como una de las causas para explicar el progreso económico. Incluso, según Rescher (1978), antes de las argumentaciones hechas por los economistas, los científicos la consideraban como una inversión productiva.

³ Para un análisis más a fondo sobre las incursiones neoclásicas en relación con la teoría del crecimiento, productividad y cambio tecnológico, ver Nelson . 1981.

Tal vez los puntos más claros en los clásicos y, con mayor lucidez, en J.S. Mill se reflejan al considerar el carácter involutivo del sistema económico: es decir, la economía que tendiera hacia el estado estacionario y en donde la tecnología jugase un papel importante al frenar esta tendencia mediante fuertes interrupciones en el proceso. Karl Marx señala el carácter evolutivo del sistema económico, oponiéndose a la visión de que tendía hacia el estado estacionario. Desde este punto de vista la competencia entre los capitalistas mantiene y fomenta nuevos desarrollos tecnológicos para mantenerse en el mercado y, al mismo tiempo, sienta las bases para que otros economistas en este siglo enfatizen el papel del empresario innovador y tomador de riesgos. El concepto de "destrucción creativa" de Schumpeter sobre la importancia del carácter del empresario en relación con los cambios tecnológicos son la base para refutar la visión más ortodoxa sobre las bondades de la libre competencia y los precios.

Las explicaciones de los clásicos sobre los elementos que explican los cambios tecnológicos son quizás fallidas ya que no logran una teoría más acabada como la de Schumpeter. Las explicaciones se tomaban prestadas de otras ciencias y, en general, se atribuían a la magnificencia de grandes personalidades que lograban un invento pero no asociado al papel del empresario ni al de la producción. Los clásicos no abordan el tema de hasta dónde la producción influye sobre los cambios tecnológicos. Se podría hablar del carácter evolutivo del empresario antes y después de la revolución industrial y, en este sentido, ponderar el papel del empresario en cuanto a fomentar los cambios tecnológicos, pero la ciencia económica explica dichos cambios en otros términos. Por esto, uno de los aportes de Marx, aparte de lograr una teoría más acabada del sistema económico en el contexto de la revolución industrial, es calificar mejor al empresario en su lucha por mantenerse en el mercado.

En este sentido, un punto central en la obra de Schumpeter es dar vivencia al sistema económico mediante la calificación del empresario como centro y promotor de los cambios tecnológicos. Sin embargo, a pesar de que se reconoce la influencia de la producción en el fomento de nuevas tecnologías, se genera aparte una nueva relación autónoma con otras ciencias. Es decir, ya no se trata de la relación entre la ciencia económica y otras, sino del grado de independencia de las ciencias exactas con respecto a la producción. En este sentido, la preocupación de los economistas en las últimas décadas ha sido la de endogeneizar la variable tecnológica al sistema económico para así explicar el crecimiento de manera más coherente. Sin embargo, existen elementos que por sí solos

tienden a ser autónomos y que se relacionan más con la creatividad, y, por lo tanto, dan a la tecnología cierto grado de autonomía en la explicación con respecto a las ciencias económicas. En términos económicos existe un grado de endogeneización de la variable tecnológica que provoca una discusión en tanto no se racionalice el grado de explicación de la variable tecnológica. Los trabajos desarrollados en este punto toman dos direcciones: los avances más importantes en cuanto a la explicación de la tecnología por las ciencias sociales se dan a través del comportamiento de las empresas y su entorno de mercado para fomentar las nuevas tecnologías y las explicaciones van por el lado de la relación entre la ciencia y la tecnología.

Se puede presentar este planteamiento mediante la incorporación de los cambios tecnológicos al análisis económico, dando lugar a una discusión más *ad hoc* a la teoría económica, enfatizando en el aspecto dinámico de cada escuela. El enfoque neoclásico se desenvuelve dentro del marco de los precios y la libre competencia que tiende al equilibrio haciendo un análisis estático de la tecnología. La simplicidad del análisis neoclásico en relación a las innovaciones basadas en la sustitución de los factores y, por lo tanto, en la técnica, ha sido severamente criticada tanto por los que rechazan el mecanismo de los precios y la libre concurrencia como por el mismo marco de análisis. Aparte se debe mencionar que la crítica a la función de producción con base en el concepto de medición, agregación del capital ⁴, la hace todavía vulnerable.

En el enfoque neoclásico, por el lado empresarial existe una racionalidad que se aprovecha para maximizar las ganancias ya sea por medio de la fijación de precios o de la producción. Es aquí como Schumpeter, al contrario del enfoque tradicional, rescata la irracionalidad de los empresarios (las decisiones ambiciosas y su optimismo excesivo) en cuanto que podría ser desastroso para ellos pero saludable para la sociedad. Por lo tanto, favorece la actividad monopólica y oligopólica por considerarla como uno de los mejores vehículos para el fomento de los cambios tecnológicos. Descarta que la libre competencia sea mejor, ya que aniquila la ventaja comparativa que le daría a una empresa o conglomerado el disfrutar por un tiempo del liderazgo tecnológico. Así, a pesar de que los monopolios son una limitante a la distribución no efectiva de los recursos, sí se presentan como indispensables para el fomento de las innovaciones y el crecimiento ⁵.

⁴ Ver para este punto De la Vega (1979)

⁵ Este planteamiento ha sido hasta cierto punto atestiguado a nivel de la empresa por autores como Nelson y Winter (1982), destacando la negativa al enfoque neoclásico de la racionalidad y la maximización de las ganancias como fuentes de selección entre alternativas.

Desde la perspectiva marxista, el análisis se concentra en cuatro aspectos: los coeficientes de producción, la dirección de la tasa de cambio técnico, el desarrollo de las fuerzas productivas, y la caída de la tasa de ganancia. En el primer punto, la discusión se centra en la estaticidad de tales coeficientes. La dirección de la tasa de cambio se refiere principalmente al factor que se ahorra entre una y otra tecnología. Queda aquí incluida la tasa de cambio del conocimiento científico, es decir, su dirección. En el fondo, discute el mismo problema que los neoclásicos pero dentro de un marco marxista. El desarrollo de las fuerzas productivas es central en el análisis ya que todo cambio tecnológico lleva consigo un cambio en la estructura de las fuerzas productivas, siendo ésta una variable política del proceso del cambio tecnológico. Desde una perspectiva neoclásica, el planteamiento se presenta mediante cuellos de botella y escasez de mano de obra especializada, así como de los retrasos en la adaptación y asimilación de dichos cambios. Por último, el análisis de la caída de la tasa de ganancia genera una discusión en torno a que la explicación del cambio técnico se refiere más a las consecuencias de este último y no tanto a explicar las causas del cambio tecnológico⁶.

Empresarios racionales y empresas

Para algunos, la principal diferencia en las explicaciones sobre las causas que promueven un cambio tecnológico apuntan a que unas determinan a éste como un objetivo central a alcanzar, es decir, una meta racional y una actividad central a alcanzar, y otras, lo explican mediante un proceso de prueba y error en donde se le da una importancia crucial a la acumulación del conocimiento. En ambas perspectivas, se dan enormes diferencias a nivel del análisis económico ya sea en tanto sujeto y explicación del cambio tecnológico o como evolución e interpretación del sistema económico. Es decir, una consistencia entre las ciencias sociales y las exactas y otra, a nivel interno, entre la ciencia y la tecnología. El problema presenta una dicotomía desde el punto de vista de la teoría económica. Muchos autores confirman que tanto los enfoques neoclásicos como los marxistas sobre el cambio técnico comparten el punto de vista de que a nivel de la empresa el aprovechamiento es del actor racional (J. Elster, 1984). Desde la perspectiva marxista se concluye que el empresario utiliza la tecnología como un procedimiento para la lucha de clases, mientras que los neoclásicos utilizan la maximización de las ganancias como explicación del cambio técnico.

⁶ Véase en este punto los trabajos de Elster (1984) en particular las referencias metodológicas de los aprovechamientos marxistas y neoclásicas.

En ambas tradiciones el cambio tecnológico se logra mediante las metas alcanzadas por el empresario. La diferencia radica en el papel que cada una le asigna al empresario.

La dicotomía se presenta por el señalamiento de varias investigaciones que enfatizan que el cambio tecnológico es consecuencia de la historia y no precisamente de metas particulares en donde el empresario juega un papel importante. En este sentido, el cambio tecnológico obedece a razonamientos evolucionistas en un contexto biológico, en tanto que se puede llegar al desarrollo de genes que tienen como característica la creación inventiva. De acuerdo con J. Elster (1984), el desarrollo socio-biológico descrito en términos modernos implica que el manejo de herramientas -y con eso el surgimiento de la creatividad- está relacionado con el cambio técnico. El complemento a esta dicotomía ocurre cuando se estudia el cambio técnico a varios niveles de agregación: tanto los neoclásicos como los evolucionistas lo estudian a nivel de la empresa, a diferencia de los schumpeterianos y marxistas que enfatizan el nivel agregado y los períodos largos en la historia.

2. Firmas e industrias

En la teoría económica el nivel de agregación de entre la firma y la industria ha sido un tema central ya que dependiendo del nivel de que se trate, se discute, al mismo tiempo de que con esto se ha querido suponer mismos y diferentes comportamientos de los diversos agentes económicos. Esto ha hecho que se tenga dificultad para comparar diferentes enfoques dentro de una misma línea de análisis. Sin embargo como algunos economistas opinan que el paso entre el análisis a nivel industria al nivel firma es un rompimiento metodológico de gran magnitud y las consecuencias son otras⁷.

El marco de análisis donde ubiquemos a las innovaciones también tienen importancia. Tradicionalmente en el análisis más ortodoxo, digamos el marginalista si bien no es explícito si lo es en la medida de hacer un solo todo; las decisiones del individuo y las decisiones de la empresa. Es decir la larga discusión entre los defensores y los críticos del marginalismo⁸ puede en parte ubicarse en la de un propietario-empresario. Dos entidades a

⁷ Ver por ejemplo Vromen (1995) para un análisis metodológico de los fundamentos de los nuevos economistas institucionales.

⁸ Machlup, Friedman, Becker por un lado y Hall y Hitch por el otro. Esta discusión es bien documentada por diferentes analistas. Ver por ejemplo Koutsoyiannis (1975), Robinson (1934), Kaldor (1935), Chamberlain (1933). El trabajo de Hall y Hitch (1939) desde luego contribuyó en su momento a entender que no podía haber solo un óptimo derivado de la maximización de las empresas. Esto posteriormente es discutido mediante la empresa multiproducto en

la vez : firma e empresario. La defensa por considerar que las decisiones del individuo pueden ser la de la firma en un marco de competencia (de industrias), no pudo resistir otras fuerzas determinantes en las decisiones de la empresa que no fuera propiedad y empresario pasivo. La discusión se tornó en ubicar el problema de las decisiones del individuo maximizador en la industria (como resultado del análisis del mercado competitivo) a la firma. El nivel de discusión no es otro sino el de las industrias y es aquí donde se ubica también la cuestión tecnológica.

El problema tecnológico en este modelo marginalista es también, bien comentado por varios analistas que trabajan los cambios tecnológicos pero hasta cierto punto la incrustación de la tecnología viene argumentada a la natural (exógena) ya que para el tiempo de que la discusión tecnológica cobrara envergadura, durante los setenta y ochenta propiamente, el marginalismo era ya superado y por lo tanto más fácil de encontrar las limitaciones del modelo comentadas por muchos flancos.⁹

La teoría de la firma

Otra caja negra (no la referida a la tecnología) sería abierta y sería precisamente pasar de un análisis de nivel industria a nivel de la firma. Porque existen las firmas y porque no son importantes para el análisis económico. Estas dos frases encierran todavía la discusión de hoy. Coase (1937,60,93) no descubre las firmas sino que encuentra una salida propia para continuar el análisis de la empresa en un sistema capitalista. Como bien es conocido y documentado, dos son sus cuestionamientos : el primero la referencia a la distribución de recursos dentro del sistema económico en su totalidad a través del mecanismo de los precios y la referencia a la distribución de recursos en la empresa misma mediante la gerencia. El segundo, la pregunta inquisidora: si los mercados pueden coordinar la producción, porque entonces las firmas emergen o existen en primer lugar. Las firmas existen porque hay costos por usar el mecanismo de los precios. Así, la distinción de la firma, es en el fondo la sucesión del mecanismo de los precios. Las firmas existen cuando el mecanismo de los precios no distribuyen los recursos dentro de la firma. Williamson (1975)

trabajos seminales por Baumol et al (1982) destacando las economías de alcance en una empresa multiproducto a diferencia de las economías de escala. Véase también los trabajos de Bailey y Friedlaender (1982) y Spence (1983) que discuten la empresa multiproducto y los mercados reactivos. Por otro lado la existencia de diferentes óptimos es tratado por la teoría de juegos a partir de decisiones reales. Ver Tirole (1992).

⁹ Bajo una perspectiva evolucionista y de cambio tecnológico se puede citar entre otros a Winter (1977,93), Nelson y Winter (1982), Rosenberg (1983) y Dosi (1982).

posteriormente contribuye a desarrollar más las transacciones al interior de la empresa: primero enfatizando en la contratación de mano de obra bajo costos de transacción en lugar de los costos de mercado introducidos por Coase y segundo aniquilando el concepto de la firma ya que los mismos costos de transacción son una organización jerárquica.

Esta es la revolución que origina Coase en la teoría de la firma que en palabras de Demsetz es una revolución silenciosa. En el primer aspecto hay gran concordancia y prácticamente es la base más sólida de la economía industrial. A nivel intra dominan los costos de transacción, a nivel interfirma el mercado asigna recursos. Sin embargo hay diferencias importantes en cuanto a interpretar la génesis de los costos de transacción o las fallas del mercado. Sobre todo la forma como se interprete estas fallas es de hecho la continuación de la misma discusión. La diferencia entre firmas e industrias no es otra que la diferencia entre intra e inter-firma. Desde una apreciación ortodoxa la firma se concibe como una función de producción. El problema de la firma es nulo porque no se requiere de esta para lograr el equilibrio. Y no se requiere la firma porque esta es inexistente, de sobra, ya que la asignación de los recursos viene dada por el mecanismo de los precios en el mercado. Dentro de la corriente neoclásica tal vez por esta razón no causo gran preocupación el preguntarse por las decisiones de la firma, eso es, lograr un equilibrio en la firma para mirar a un equilibrio en la economía, -esto bastó- para no mirar al interior de la firma. La cuestión está en que no se puede pensar en una economía sin las firmas, sin una teoría de las firmas ya que las transacciones son muchas y afectan a los agentes económicos. En todo caso tan solo se puede pensar en las complicaciones que se generan en el equilibrio general y la macroeconomía. Sin embargo ciertamente hubo muchos otros trabajos que contribuyeron a esta discusión al mismo tiempo que el de Coase pero por una parte, por ser más radicales o no estar dentro de lo que hoy se interpreta como la corriente principal tuvieron menos fortuna¹⁰. Por otro lado, las argumentaciones de Coase al discutir a las firmas y menos al mercado, o mejor dicho a delimitar estas dos tuvieron un gran impacto, mucho mayor que las críticas a la perfección de los mercados discutidos por Arrow a través de las externalidades, riesgo, incertidumbre etc. Sin embargo lo que hoy todavía no parece asimilado es el costo que tuvo la ciencia económica por no avanzar o retrasarse 30 o 40 años al no admitir diferencias en la corriente dominante de los treinta, cuarenta y cincuenta.

¹⁰ Entre estos se puede citar a Robinson, Kaldor, Chamberlain, Sraffa que fustigaron durante toda su vida las imperfecciones del mercado y aunque la crítica no se centró única y exclusivamente en la firma si se centró en aspectos de esta y en los mercados: esto es, en la parte ficticia de las transacciones del mercado: los costos de mercado. Aquellos que han discernido o leído otra literatura diferente a los textos de economía sale sobrando la referencias. Sin embargo puede mencionarse Robinson (1933, 1934), Kaldor (1934), Chamberlain (1933), Hall y Hitch (1939), Alchian (1950), Penrose (1952)

Esto es una lección que hay que aprender para que hoy en día no solo se discuta la corriente (económica) principal.

Para Coase los costos de mercado son los costos en que se incurre para descubrir los precios relativos. Esto lleva a interpretar que los costos de mercado son los costos para encontrar un mercado competitivo. Mucha de la discusión que ha sobrevivido y todavía es fuente de crítica es el concepto de firma en un mundo coasiano. Ciertamente muchos como Hodgson (1994) han defendido el concepto de la firma de Coase al referirse a una empresa capitalista. Sin embargo no ha habido consenso acerca de la generalización del concepto de la firma.¹¹

En visión de Williamson (1975,79,93) el análisis de los costos de transacción sirve para analizar la organización jerárquica (las firmas) dadas las fallas del mercado. Estos costos Williamson los explica en términos de factores humanos y ambientales que representan una racionalidad limitada, un oportunismo, y una especificidad en el capital¹². La persistencia y exageración de estos tres aspectos son para Williamson los factores que determinan muy a menudo persistentes y excesivos costos transaccionales de mercado. La jerarquía en las organizaciones puede a menudo disminuir o atenuar el efecto de estos factores ya sea en una contratación de empleo a largo plazo o poner fin mediante la habilidad autoritaria a una larga disputa contractual. Sin embargo las jerarquías no pueden completamente eliminar del todo los costos de transacción ya que las organizaciones jerárquicas tiene costos de transacción en si mismos y en particular una tendencia a disminuir el efecto positivo de los poderosos incentivos que las señales del mercado provee. Esto hace que exista una limitante entre las ventajas que se dan en la organización jerárquica y el mercado mismo. Cuando ya no exista tal ventaja el mercado actuara. Por esta razón es que para Williamson son los costos de transacción, los mercados y las organizaciones jerárquicas el escenario para explicar no solo las jerarquías sino el mercado todo en términos de economías de costos de transacción.

El planteamiento de Williamson ha sido la base para explicar una serie situaciones respecto a la coordinación de los recursos, las relaciones contractuales de trabajo, la integración vertical, la organización en Forma M, el conglomerado y la diversificación de las

¹¹ Son varias la contribuciones que discuten el planteamiento de la firma de Coase. Ver en especial a Demsetz (1988, 1993). Williamson (1979,93), Fourie (1994), Hodgson (1994), Pitel's (1994).

¹² Racionalidad limitada (*bounded rationality*) es decir límites en el procesamiento y adquisición de la información. Oportunismo refendo a un personal espíritu saqueador como guía. Especificidad en el capital como las inversiones hechas por algunos agentes que tienden a generar costos hundidos y así un alto costo a la salida.

corporaciones multinacionales (Williamson 1975,81,93)¹³. Sin embargo el planteamiento de costos de transacción, jerarquías y mercado (CTJM) ha sido criticado con base a definiciones básicas de la misma empresa que no ha podido tener una generalización mayor que la de la firma en un sistema capitalista (Fourie,1994, Dogson,1994). A nivel mercado inclusive se ha discutido el concepto de este mismo que al igual que la firma es deficiente. Así, mas que preguntarse acerca de si el mercado existe la pregunta radica en no negar que las relaciones de intercambio existen pero, porque (si) ocurren dentro de arreglos institucionales que se aproximan a la conceptualización de los mercados en el análisis del equilibrio general.¹⁴ Otra critica es la relacionada a la operatividad de los costos de transacción a diferencia de la separatividad de las firmas y mercados.¹⁵ En general el planteamiento de CTJM ha dado lugar a una enorme agenda que se contraviene con otra agenda basada en la agencia.

El regreso al análisis de las industrias: la firma como quasimercados

Mientras que hay una concordancia en las imperfecciones del mercado resaltando la cuestión de los costos de transacción hay diferencias en atribuir estos costos. Alchiam (1950) señala en la existencia de asimetrías como resultado inevitable de decisiones erróneas debido a que se llevan a cabo en un escenario de incertidumbre. Posteriormente Alchiam y Demsetz (1972) atribuyen esta asimetrías a las diferencias de información entre empleados de la firma principalmente desembocando así en un problema de monitoreo entre las actividades de los trabajadores y las recompensas. El problema de los costos de transacción resulta por un problema de organización y en la medida de encontrar soluciones para captar las productividades respectivas del trabajo con respectivas recompensas, la organización de la empresa puede nulificar en mayor medida la incertidumbre.

El razonamiento de Alchiam y Demsetz se basa en encontrar una relación interfirma resuelta por el mercado y una relación intrafirma resuelta por costos de

¹³ Joskow (1985, 1993) ha analizado la integración vertical en el sector eléctrico en estados Unidos y al mismo tiempo ha discutido el enfoque de Williamson en este sector y la dinámica de los procesos de desregulación y los mercados. Ver tambien Klein (1981).

¹⁴ Ver Sawyer, 1993 para un análisis de la naturaleza del mercado principalmente basado en el modelo de equilibrio general a partir de las concepciones de Arrow y Debreu.

¹⁵ La asunción de la existencia de mercados y la discusión de la firma capitalista, la asunción de la sustituibilidad entre jerarquías y mercados, los procesos en los cuales las jerarquías (firmas) reemplazan a los mercados, la relativización de los agentes ya sea que emergen eficientemente en términos paretianos o ya sea que los objetivos de los agentes sea separables de la cuestión de existencia, el posible papel del poder en estos procesos, el tratamiento de otras instituciones como clones. Todo esto es en buena parte la agenda de discusión referida a los costos de transacción, jerarquías y los mercados (CTJM) que se ha formado a raíz de la critica y las discusiones a los planteamientos hechos por Williamson. Ver Pitelis (1994) para una revisión.

transacción. Para los autores estos costos se deben a una asimetría en la información la cual es debido a una incertidumbre. Demsetz (1993) enfatiza la diferencia con la competencia perfecta, es decir la existencia de una información incompleta por lo cual se requiere de contratos. El objetivo luego es reducir los costos de transacción mediante reduciendo el riesgo. En la medida en que se elimine el riesgo, hipotéticamente a cero, el modelo parecería a competencia perfecta. Aquí la firma esta determinada por el grado de los costos de contratación. Asimismo en la medida en que se reduzcan los costos de transacción se acerca al modelo de competencia perfecta en la cual la firma no existe porque la técnica y los precios son dados. O sea no hay incertidumbre ni riesgo porque no hay futuro. Así el principal problema radica en el equipo de trabajo de la empresa que pueda estar dedicado a resolver los problemas y de esta manera reducir la incertidumbre. El equipo podrá sustituir al dueño. Las firmas existen porque pueden explotar las ventajas del equipo de trabajo. Así el trabajo del equipo, su programa, induce a tener una forma contractual llamada firma.

Este aprovechamiento ha sido criticado al considerar la firma como un contrato del equipo de *inputs* (donde los empleados son contratados) y solo concebir firmas unipersonales, no pudiendo explicar grandes y complejas organizaciones jerárquicas y por lo tanto no proporcionando una base sólida para la concepción de la firma. (Williamson, 1981,93). Además dado el énfasis que se le da solo a una parte de la relación contractual no deja claro la distinción entre una relación intra y una relación interfirma ya que al final todo se relaja en términos de mercados. Las respuestas que ofrecen estos autores precisamente a los cuestionamientos iniciados por Williamson no solo no han sido respondidos satisfactoriamente sino que también mas que avanzar por las respuestas económicas se ha avanzado por el lado metodológico creando así otra mayor diferencia. El propósito de analizar a la firma esta referido prácticamente a la escala y al alcance. Desde luego no hay respuestas contundentes que ofrezcan una genuina solución al *trade off* de los beneficios y costos. Se requiere no solo explicar porque existen las firmas sino también porque las transacciones no son organizadas dentro de una sola firma. Este cuestionamiento hecho por Williamson no se ha podido responder. A pesar de que se ha querido responder de forma diferente se ha fallado y solo en parte se ha podido continuar con el enfoque de la contratación incompleta pero que a su vez a generado otros problemas como el problema del *free-rider*.¹⁶

¹⁶ Holmstrom (1982) discute la cuestión de los *Moral hazards* referido al problema que inducen los agentes para suministrar cantidades propias de insumos productivos cuando sus acciones no pueden ser observables y contratadas

Los desarrollos recientes de la firma

El papel que se da a la información dentro de las organizaciones y el reconocimiento que los agentes tienen una limitada y diferente información ha tenido una cordial bienvenida. Esta apreciación que hace que otros autores como Jensen y Mekling (1976) se enfoquen en el análisis de los agentes como vía para balancear las retribuciones y la incertidumbre y dando origen al argumento de los incentivos. La firma analizada como las relaciones entre el principal y los agentes pero dando un especial énfasis en la estructura del capital y el papel de los agentes con intereses propios. De acuerdo con Holmstrom (1989) aquí también la firma es vista como un contrato entre multitud de partes. El diseño del contrato esta hecho para minimizar los costos de transacción que se tiene entre factores especializados de la producción. Tal vez la diferencia con el análisis del *equipo* de Alchiam y Demsetz se deba en el énfasis exclusivo del aspecto contractual; la firma es vista como una organización en general pero también como una ficción legal que sirve de nexo para un conjunto de relaciones de contrato entre individuos.

De hecho se ha generado una enorme literatura basada en la forma como responde una organización frente a un agente que posee un nuevo conocimiento económico. Esta temática además de la demarcación entre la firma y los mercados se ha enfocado al financiamiento de la firma, la estructura del capital, persistencia del principal y la gerencia, la sustitución de los propietarios, los incentivos, burocratización, la organización interna de la firma y extendiéndose a valuaciones de talento y liderazgo. Holmstrom y Tirole (1989) analizan una larga lista de enfoques dirigidos a este cuestionamiento. De hecho no se trata aquí de hacer un survey de toda la literatura, sin embargo el hecho de mencionar los principales argumentos iniciados por Coase y continuados por Williamson en forma cronológica ha servido de base para este análisis y en general también para cualquier otro tratamiento que se publica inclusive hoy en día.¹⁷ No es muy difícil sostener que la investigación que ha proseguido posterior a 1970 mas que avanzar en la definición de los

directamente. A pesar de que el problema del *free-rider* puede ser resuelto si se separa los propietarios de los empleados esto solo se observa si no se da una colusión entre los agentes.

¹⁷ Esto es porque la diferencia entre lo que se ha dicho a partir de una pequeña colección de artículos (formados por los de Coase, Williamson, Alchiam y Demsetz, Jensen y Menkin como es reconocido) y lo que se ha avanzado no es mucho. En palabras de Demsetz (1993), en casi 200 años (1776-1970) solo dos trabajos relativos a la teoría de la firma han sido escritos y han de verdad alterado las perspectivas de la profesión: estos son el de F. Knight (1921) *Risk Uncertainty and Profit* y el de R. Coase (1937) *The Nature of the Firm*.

limites de la firma, ha proseguido con la organización interna de la firma, la estructura del capital, el papel de los agentes en una perspectiva Schumpeteriana..

En este terreno trabajos como el de Fama (1980) ha tenido preponderancia ya que se ha centrado en analizar la reputación (de la gerencia) en el corto y largo plazo como mecanismo mismo de autocorrección de errores y de esta forma haciendo la reconexión con la teoría de la firma vista como un quasi-mercado. Holmstrom (1982b) ha discutido los escenarios en los cuales se daría un equilibrio como el de Fama llegando a concluir la imposibilidad de este equilibrio eliminando los supuestos restrictivos de tiempo y linealidad. El análisis de liderazgo y en especial el del talento se ha analizado a la luz de burocratización, y el monitoreo de los costos de transacción. Si la cuestión de la burocratización es un tema que se ha incorporado recientemente en la teoría de la economía industrial no lo es para la política y la sociología. Sin embargo bajo el aprovechamiento de información incompleta y el problema del principal y el agente se ha analizado las diferentes colusiones factibles frente a diferentes incentivos.¹⁸ De acuerdo con Audretsch (1995), el problema de la agencia se vuelve mas importante en un contexto de respuesta organizativa frente al agente que posee un potencial para un nuevo conocimiento económico. Porque el principal no esta en posibilidad de observar directamente los esfuerzos del agente ya sea monitoreandolo o mediante recompensas, emergen otros problemas .

El problema de la burocratización ha sido analizada como la existencia de un dilema que esta asociado al tamaño de la empresa (Holmstrom, 1989). La burocratización como enfermedad de la empresa tiene sentido porque es resultado de las limitaciones del monitoreo y de los incentivos de las recompensas. Sin embargo la burocratización mientras que para unos es una enfermedad para otros cumple un papel importante ya que es una forma racional para las organizaciones para limitar la inversiones por los agentes que pueden en un momento dado influir en las actividades. Al mismo tiempo la burocratización es una forma que evita la colusión de los subordinados porque la integridad de la evaluación de los subordinados depende de los incentivos que enfrenta el monitoreo.

Las llamadas reglas burocráticas se han analizado para minimizar los costos agenciales y los costos de monitoreo. Se ha argumentado también que estas reglas han fomentado prototipos de empresas y su distinción en el mercado determinada por la

¹⁸ El poder es un tema clásico de las ciencias sociales y el fenómeno de la burocracia es un tema que ha sido estudiado a iniciativa del primero. - Tirole ha analizado los efectos de la colusion entre los agentes analizando la burocratización en las organizaciones jerárquicas. (Tirole. 1986) Ver también Holmstrom y Tirole (1989)

uniformidad de la cultura corporativa la cual a su vez promueve la reputación de la firma.. Sin embargo para esta reglas se hace mas difícil de evaluar los esfuerzos y las actividades de los agentes que no precisamente caen bajo la regla burocrática. Holmstron (1989) hace mención a una serie de instancias donde las diferencias en monitoreos se asocian con la objetividad de lo valuado, en términos de que en la medida de que se refleje las tareas se conducirá a un control mas efectivo. Asimismo los sistemas autoritarios pueden funcionar mejor en ambientes que son mas predicables y requieren menos infamación. Las rutinas pueden ser comparativamente mas ventajosas que la burocratización.

El análisis de la firma bajo diferentes enfoques condujeron a cambiar no solo el papel de la gerencia empresarial sino a una mas profunda relación intrafirma. Los costos de transacción en que incurre una empresa para sobrevivir son independientes y esto hace diferente al modelo tradicional donde los costos son el mismo empresario propietario. El análisis de los costos de transacción bajo diferentes modalidades no ha terminado: ya sea el aprovechamiento de los derechos de propiedad, el de los costos agenciales o el de las relaciones transaccionales son todavía una discusión no solo sobre acerca de como ubicar el análisis intrafirma sino su relación con la industria; es decir interfirma.¹⁹ El papel de la gerencia, del principal, bajo una perspectiva Schumpeteriana tiene gran relación con lo invertido en investigación y desarrollo bajo un enfoque jerárquico dentro de la firma, o el del análisis del equipo-grupo de la producción de transacciones a nivel interfirma. Para algunos la discusión va balanceada en la dirección del enfoque jerárquico ya sea la toma de decisiones por grupos o con un tono autoritario. Cualquiera que sea la diferencia, su comparación con el enfoque de relación interfirma es otro ya que no se deriva de un mercado eficiente fuera de la firma en cuestión sino al interior de la firma bajo otras modalidades de tomar decisiones. Por un lado la relación intrafirma se acentúa por los costos de transacción y el papel de los agentes. Por otro la relación interfirma, industrial, indirectamente permea una lógica de relación de las firmas ya que hay una connotación tecnológica en las industrias que la hace diferente de la firma. No es tanto la argumentación de la desaparición de la firmas o cuasimercados lo que domina sino la existencia de otros elementos que persisten y transforman mediante un mecanismo adaptativo. Las

¹⁹ Como se ha mencionado ya el número de artículos y ensayos es inmenso. Véase por ejemplo el libro de Putterman (1986) el de Clark y McGinniss (1987), el de Williamson (1991), Sen (1996) donde se re-edita y se reproducen algunos trabajos seminales. vease también Pitelis (1993), Martin (1993), Dietrich (1994) Hogson (1994), Vromen (1995).

innovaciones en estos dos aspectos adquieren una peculiar importancia ya que se presenta como factores de cambio tanto visto como firma como visto como industria.

La dificultad para hacerse del conocimiento tecnológico y la diversidad tecnológica encierra al final un problema de información, que favorecen un enfoque de apropiabilidad y con esto un análisis de industria en lugar de empresa. Es decir la tecnología como producto puede ser tal que favorezca no una relación intrafirma y si interfirma y por lo tanto se pueda cobijar en un mercado competitivo. Entonces la propuesta de los derechos de propiedad puede ser central para el análisis de costos de transacción. Es por esta razón que muchos se inclinan a pensar que la discusión no ha terminado, sobretodo cuando se analiza la tecnología y cuando en algunas industrias esta tiene una mayor capacidad de diseminación que otras. Es conocido que en algunos sectores como la metal mecánica las innovaciones y las transformaciones tecnológicas son mayormente compartidas entre las empresas, mientras que en otras la facilidad para retener el secreto y la ventaja de la innovación son mayores y que la razón de esto no es precisamente el mercado sino la naturaleza de las empresas. Al final de cuentas mientras que desde un punto de vista es mas fácil analizar la cuestión tecnológica bajo las industrias, su razonamiento diferente al enfoque de propiedad, no proviene de un mercado competitivo sino de la naturaleza del sector.

La firma en la perspectiva evolucionista

Otro cambio violento es el que le da teoría evolucionista de Nelson y Winter (1982). Su análisis es mas aterrizado y se basa en la industria y no a nivel de la empresa. Para llegar a esto desde luego tiene que discutir la teoría ortodoxa lo cual en si refleja una controversia y una continuación de esta de la misma forma como lo introdujo Alchian (1950) al incorporar el concepto de selección natural.²⁰ El esfuerzo que se hace en las explicaciones del comportamiento de las firmas es evolucionista. En palabras de Winter (1993) la teoría económica de la evolución tiende a poner énfasis en un comportamiento económico observable mas que en un grupo de alternativas hipotéticas. Y como en la biología que tiene que ver como se reproducen los patrones en el tiempo, frente a un

²⁰ En palabras de Alchian (1950) "The suggested approach embodies the principles of biological evolution and natural selection by interpreting economic system as an adoptive mechanism which chooses among exploration actions generated by the adaptive pursuit of success or profits", pag 211.

continuo recambio de las poblaciones de individuos que forman los cambios, en las firmas y en las industrias se hace lo mismo. Dadas las similitudes, para muchos este aprovechamiento más que abandonar el enfoque ortodoxo es un complemento ya que logra tender un puente entre el análisis intrafirma y el análisis interfirma²¹.

El conocimiento y la organización son los fundamentos para entender mejor una teoría evolucionista de la firma. Estos principios desde luego nos son nuevos ya que antes Alfred Marshall en la primera edición de su libro *Principles of Economics* lo había advertido al considerar el capital en estos términos. Para Marshall el conocimiento es la fuerza más poderosa en la producción (Marshall, 1920). El sentido de oportunidad en la teoría del crecimiento de la firma de Penrose (1959) es visto con una connotación productiva al analizar las actividades que los empresarios pueden desarrollar al aprovechar oportunidades las cuales están basadas en la experiencia y en el conocimiento.

Las rutinas, la búsqueda y la selección son los factores que permean la evolución de las industrias. Las rutinas de acuerdo con Nelson y Winter (1982) son persistentes y predecibles y son el fundamento para regular el comportamiento de las firmas. Para ellos la rutinización es la base para acumular las operaciones organizacionales que implican un conocimiento. Dosi (1988) se refiere a esta actividad como fundamental para la acumulación del conocimiento y se presenta como fundamental para la generación de innovaciones. Aunque se puede encontrar limitaciones a esta forma de acumular conocimiento; no necesariamente la rutinización desemboca en acumulación de conocimiento.²²

Otra parte central en el enfoque evolucionista y la rutinización es la relación con la racionalidad limitada. A diferencia del enfoque ortodoxo de la firma, en el evolucionista la rutinización emerge para contrarrestar la racionalidad limitada mediante dirigiendo el proceso de toma de decisiones en el mediano plazo afectado por la información incompleta.

Las firmas pueden entrar en la búsqueda de nueva información y conocimiento mediante investigación y desarrollo y/o hacer consultas a través de otras firmas. Esta actividad desde luego es independiente de la rutinización y se caracterizan por la irreversibilidad y la incertidumbre. De acuerdo con Nelson y Winter (1982) la selección y la búsqueda no son separables y son en parte determinados por factores externos.

²¹ Los puntos complementarios desde luego no son todos y desde luego no los comparten los autores. Sin embargo tanto desde una visión más de cambio tecnológico como la de Gomulka (1990) y una metodológica funcional como la de Vromen (1995) se comparte la idea básica de complementariedad entre los dos aprovechamientos.

²² Mas adelante en la segunda sección de este capítulo se discute este aspecto.

El contraste entre una organización jerárquica burocratizada y una actividad empresarial y emprendedora ha llevado a analizar la generación del conocimiento económico basado no en rutinas y en consecuencia rechazado por una estructura burocratizada. Audriech (1995) ha hecho análisis empíricos basado en los dos régimen tecnológicos de Nelson y Winter.²³

El análisis de las tecnologías desde un nivel de industria puede en principio analizarse mejor ya que partiendo de una especie de trayectoria tecnológica²⁴ en la producción de determinados aparatos, estas podrán diferir a nivel de la firma pero difícilmente se podrá encontrar diferencias en la trayectoria. Las trayectorias se adaptan más fácilmente con las industrias y con el concepto de evolución²⁵ y por lo tanto mientras sean trayectorias, mientras no existan interrupciones profundas seguirán siguiendo un patrón el cual es más fácil de observar en el grupo industrial ya que este representa a las industrias. Tampoco a nivel de la firma y no necesariamente uniproducto, a pesar de que puede haber diferencias tecnológicas estas no son radicalmente diferentes pues en este caso habría un ruptura de la trayectoria.

La cuestión de las industrias y las empresas dentro de un enfoque evolucionista tiene una diferencia notable frente al ortodoxo²⁶ ya que permite introducir el concepto de industria y empresa bajo bases diferentes. Bajo el punto de vista tecnológico un agrupamiento industrial tiene una inmejorable connotación ya que es al mismo tiempo grupo tecnológico y grupo industrial. Mientras que bajo a nivel de la firma no necesariamente cada una de ellas correspondería a un mismo grupo industrial. El agrupamiento tecnológico se basa por lo general por el tipo de proceso mientras que el grupo de firma por el de sustitución del producto en el mercado²⁷. Un agrupamientos de firmas con base tecnológica desde luego que desembocaría en otro muy diferente de los que conocemos. De ahí que desde el punto de vista tecnológico un agrupamiento de las industrias y las empresas tenga mayor relevancia que un agrupamiento con base a la

²³ Las comprobaciones se refieren a un régimen tecnológico empresarial que favorece la entrada de las firmas con actividad innovadora y pero no la actividad innovadora de las firmas ya establecidas. Un régimen tecnológico rutinizado donde no favorece la entrada de firmas innovadoras y favorece las firmas ya establecidas. Ver Audriech (1995).

²⁴ En la siguiente sección II se discute este aspecto.

²⁵ Esto es un motivo que han explotado Nelson y Winter para formular su teoría evolucionista. Ver Nelson (1994) ya que hay muchos elementos evolucionistas en la teoría económica y en la biología. Inclusive en palabras de Marshall (1920) acerca de lo que le quedaba a la ciencia económica una vez alcanzado cierto equilibrio era retomar algunos principios evolucionistas de la biología. Ver Vromen (1995).

²⁶ Por ortodoxo se entendería no precisamente la escuela marginalista sino la continuación del marginalismo considerando el problema de los costos de transacción.

²⁷ Se podría considerar un agrupamiento por tipo de material y/o por equipo terminal pero lo más conveniente es por proceso.

sustitución del producto en el mercado. Este último agrupamiento es importante para el mercado y por los bienes y servicios que concurren en él.

Desde el punto de vista del consumidor de bienes finales e inclusive intermedios la agrupación con base en la sustitución es la que se da en forma natural y es por ello que es una salida muy práctica en el análisis económico. No solo se ha fomentado sino de hecho ha servido para acelerar un proceso de difusión de los productos en el mercado.

Sin embargo las fuerzas latentes para generar los cambios tecnológicos son mejor entendidas si desde el principio se asocia la fuente tecnológica con la industria y la firma tecnológica. Esto es: a) porque el rango tecnológico es menor en las industrias que en las firmas, b) porque separa más fácilmente aquellas innovaciones que no son afectadas por mercados competitivos ya que se aísla de antemano al mercado, c) porque pueden valuarse su potencialidad desde un marco de análisis interfirma sin la influencia del mercado y d) porque se amplía la visión y se permite conocer mejor los impactos favorables y no favorables desde la perspectiva de toda la economía o al menos del sector industrial sin antes pasar por la rigidez de corto plazo que le da el mercado.

Este último aspecto, al mismo tiempo hace ver que el mercado y los costos de transacción juegan un doble papel: en primer lugar en el corto plazo cumple su función de difusión y aceptación del nuevo producto ante nuevos y antiguos demandantes. En segundo, abate y no fomenta bienes que no teniendo una maduración que pase por la selección del mercado, se rechace. En otras palabras discrimina cuando se tiene un cambio tecnológico con alto grado de permeabilidad sectorial y con una longevidad amplia²⁸. Esto es resultado de las limitaciones del mercado para fomentar todo tipo de innovaciones y que puede verse como un costo ya que ni el mercado ni el empresario son capaces de tener la mejor decisión porque entre otras cosas, estas son complejas ya que se derivan de un entorno complejo, a la Williamson.

3. Innovaciones y apropiabilidad

Cual es el tiempo que una innovación debe liderar sobre otra para que retorne una tasa decorosa o para que proporcione ventajas frente a competidores. Estos son dos

²⁸ Esta discusión y crítica al mercado y al inversionista bajo la distinción de miopía, desde luego no es nueva en la teoría económica. Sin embargo lo que si se quiere enfatizar y esto tiene relevancia es la importancia de evaluar tecnologías en sus propios términos y no bajo el rigor del mercado

problemas diferentes, uno referido a las características de la innovación como un producto durable y otro a las condiciones que se deben dar para que la empresa innovadora mantenga la ventaja de la innovación en un mercado competitivo.

El primero ha sido un problema menos discutido y este ha sido así por la gran relación que guarda las innovaciones con su razón de ser. Como apenas se abrió la caja negra de la tecnología, la naturaleza de los cambios tecnológicos vistos sin influencia del papel económico se empiezan a estudiar. Como se discutió en la sección anterior el conocimiento es una forma de capital y desde luego existirían los aprovechamientos metodológicos para incorporarlo al análisis económico. Sin embargo el problema del capital ha sido una cuestión no acabada pero si esquivada. La producción del conocimiento hace que se retome el problema del capital pero en lugar de volverlo mas complejo, entendiendo mejor la génesis del "conocimiento" como producto.

El segundo problema es el que mejor se ha analizado y con esto se ha avanzado en el carácter económico de las innovaciones. El marco de análisis desarrollado por la teoría económica en gran parte permite mas fácil su análisis aunque esto no implique de antemano problemas en su tratamiento. Un ejemplo de esto es su consideración como bien público donde inmejorablemente puede tener un sentido para el análisis económico. Así, si el conocimiento es un bien público, las dificultades para retener la mínima recuperación de capital se vuelve difíciles dado que la apropiabilidad es limitada por las características de rivalidad y no exclusividad²⁹. Los problemas que surgen de esta apreciación no son banales ya que desde el principio se supone una eficiencia en los mercados, una asociación de equivalencia entre lo invertido en I y D y su resultado como una innovación, y que la actividad innovadora es un problema misión-objetivo unidireccional..

No hay mercados eficientes y la actividad innovadora no es la excepción. Esto es una cuestión conocida que se extiende al incorporar la tecnología³⁰. Desde luego hay propuestas de soluciones para mitigar el problema de los mercados eficientes y permitir la apropiación de la actividad innovadora a través de los subsidios, la cooperación en

²⁹ Romer (1986) hace un tratamiento similar al discutir el carácter endógeno de la tecnología. Para el autor el capital humano es la fuente del progreso técnico y como tal puede analizarse como rival y parcialmente exclusivo. Esto es porque en la visión de Romer el conocimiento exhibe una productividad creciente pero no así las inversiones en investigación que exhiben rendimientos decrecientes. El punto a destacar junto con el enfoque de Lucas (1988) es que el capital humano es mas importante que el físico. Esto desde luego tiene implicaciones no solo para una política de crecimiento mediante subsidiando la investigación, sino que tiene una apreciación tácita al distinguir el capital humano entre países. De hecho el autor explica las diferencias en el crecimiento a través del capital humano. Esto sin embargo no ha sido comprobado por las economías industrializadas del continente asiático.

³⁰ Los mercados no son eficientes porque existen indivisibilidades, externalidades y el futuro es incierto. Ver Arrow, (1950). Además desde el punto de vista de la firma existen costos de transacción que minimamente disminuyen el papel del mercado.

proyectos, las patentes y las estrategias de integración vertical³¹, cada uno con ventajas y desventajas para la firma y para el rival.

Una evaluación de la forma como las firmas se apropian de la innovación es difícil de evaluar ya que no hay una medición ni unidades que den cuenta de esto. Inclusive un problema de fondo es, en si, determinar la importancia de la innovación ya que depende de sector industrial y del grupo tecnológico. Algunas firmas explotan las patentes porque son económicas, otras la secrecía, otras la curva de aprendizaje y los esfuerzos de venta. Hay gran diferencia en patentar una innovación de proceso y una de producto, el papel de cada una de ellas, la mayor utilización, las de menos costo, las mas efectivas para preservar la ventaja tecnológica las diferencias por tipo de innovación, por proceso o producto terminal, por sector de actividad es todo esto lo que cuenta para conocer la forma de apropiabilidad de las empresas. Levin *et al* (1987) ha hecho un estudio analizando las formas de apropiación³² encontrando resultados favorables para la curva de aprendizaje y el mercadeo y gestión. Sin embargo de acuerdo con Geroski (1995) por otro lado, con otros estudios se dan otros resultados que hacen que el mercado sea incompleto³³.

El problema del flujo del conocimiento no puede verse simplísticamente como un *trade off* entre favorecer las innovaciones o restringirlas en aras del crecimiento. De acuerdo con Geroski el problema no es tan simple ya que no hay evidencia de que todo el flujo del conocimiento pase a través de los centros de I y D y en cambio el flujo involuntario tenga mas peso y menos impacto para mitigar la diversidad y el crecimiento. Además como no todas las firmas tienen la misma capacidad de innovar, puede resultar mas ventajoso fomentar las capacidades tecnológicas internas de las firmas. El punto en cuestión estriba en aprovechar no solo las innovaciones potenciales sino fomentar las capacidades de innovación para que la disputa sea a mayor escala. Si el problema de usurpación de las innovaciones se acrecienta, la mejor política no será su abatimiento pormenorizado sino que en aras del crecimiento en conjunto lo mejor será ampliar el rango de innovaciones para explotar mediante aumentando las capacidades internas de las empresas³⁴.

³¹ Geroski ha analizado este tema. (1995,1992)

³² Mediante una análisis a ejecutivos de I y D de 130 industrias en EUA.

³³ Otra cuestiones que se ha estudiado es el tiempo que toma las imitaciones, y el *trade off* entre el costo que se da en incurrir en la imitación y la ventaja que le da una vez hecha, así como dificultad de apropiación por: el que genera la innovación y la facilidad para que otro (ajeno) se apropie de la innovación. Griliches, (1979,1990) analiza y discute el problema de medición para evaluar las externalidades que se generan cuando otros directa e indirectamente se benefician y afectan por una innovación.

³⁴ Sin embargo esto es todavía un aspecto a discutir ya que la intervención publica debe centrarse en subsidios.

Junto con la cuestión de la apropiación, las capacidades de la empresa para hacerse de conocimiento en mercados rivales y el aprovechamiento de las oportunidades tecnológicas son los aspectos que mejor explican la actividad innovadora, inclusive a pesar de encontrar diferencias fuertes a nivel interindustrial. De acuerdo con Cohen (1995) la visión Schumpeteriana de analizar la actividad innovadora mediante el tamaño de las firmas y la concentración de los mercados ha pasado a un análisis neo-Schumpeteriano determinado por la apropiación, las características de la demanda del producto y las oportunidades tecnológicas y su relación con las capacidades de las empresas.³⁵

4. Mercados: concentración y tamaño

Dentro de las tesis de Schumpeter (1978) se ha analizado intensamente las relación entre mercados monopólicos, tamaño de la empresas y su asociación con producción de innovaciones. Muchos estudios se han abocado a esta tarea sin lograr importantes avances. Un aspecto crucial en la comprobación es la forma de medir la actividad innovadora a través de I y D. Quizá el mayor descubrimiento con base a análisis empíricos consiste en relacionar I y D y tamaño de la firma. De acuerdo con Cohen (1995) existe una positiva relación monótona entre el tamaño e I y D la cual aparece proporcional dentro de los estándares en I y D a la mayoría de las industrias. El consenso es que el tamaño tiene poco efecto en promover las innovaciones³⁶.

Con respecto a la concentración del mercado los análisis empíricos son menos evidentes y no se puede hablar de un consenso donde predomine los mercados oligopólicos a los competitivos para fomentar las innovaciones. Sin embargo los resultados de numerosos estudios han fructificado si bien no en la relación de mercados si en otras características como oportunidad tecnológica y las condiciones de apropiación.

Muchos de los análisis se han basado en las industrias ya que es a partir de estas que se ha tenido mayor información. Sin embargo esto solo ha demostrado la complejidad de los análisis tanto de los que han seguido una lógica neoclásica como los que han seguido

³⁵ Se ha visto recientemente que la cuestión de las capacidades de las industrias es fundamental para entender la apropiación de las innovaciones y desde luego escoger los adelantos tecnológicos. Al respecto Malerba (1992) ha desarrollado una taxonomía de como la firma aprende a través de situaciones y procesos que emergen sobre experiencias en la producción, aprendizaje que se reproduce o permite el acceso a otro tipo de conocimiento, así como la solución de problemas.

³⁶ Cohen W. hace una minuciosa revisión de la literatura en este aspecto revisando la más amplia literatura en este aspecto desde la publicación de Schumpeter en 1942.

un enfoque evolucionista.³⁷ Lo anterior presupone que la discusión entorno a las tesis de Schumpeter en cuanto a favorecer los mercados oligopólicos, las grandes empresas como promotoras de innovaciones no ha sido del todo comprobadas.

5. Ciencia y tecnología

Un tema que ha sido mencionado pero no aclarado es la relación entre la ciencia y la tecnología en un contexto evolucionista. Aparte de llegar a concepciones más acabadas sobre el descubrimiento, el invento, la innovación y la difusión, existe la problemática de conocer el grado de dependencia entre lo científico y lo tecnológico. Se le ha estudiado considerando la historia de los acontecimientos científicos y tecnológicos, y el lugar que han ocupado los centros de investigación y desarrollo que han jugado un papel intermedio entre ambos. La discusión puede irse a los extremos ya que hay quienes explican la dependencia de la tecnología de la ciencia y viceversa³⁸. Otros autores como N. Rosenberg, Winter, C. Freeman, G. Dosi se han referido a casos de industrias para conocer el grado de dependencia e interpelación. Puede decirse que en términos generales lo que han observado diferentes analistas es el desarrollo de la ciencia con gran ayuda de la tecnología y en la mitad de este siglo en algunas industrias la ciencia aparece como restaurando los favores que les hizo la tecnología. Desde luego se observa en algunas industrias cambios notables y estos relacionados con el bagaje científico aplicado a la producción. De hecho esta ha sido una disputa, entender que es la tecnología. Si la entendemos como una aplicación de bases científicas a la producción podríamos estar de acuerdo. Sin embargo la tecnología no solamente se ha favorecido de la ciencia, sino también de otras ciencias como la economía, la sociología, y la biología. Aun así quedan muchas preguntas acerca de si el número de centros de I y D es el adecuado, o porque son relevantes, o porque algunas firmas si invierten y otras no, cuestiones en parte estudiadas y en parte no contestadas dada la dificultad de concebir los productos de un centro de I y D.

Otros cuestionamientos no menos importantes giran en torno a si la ciencia es industrialmente relevante, cómo se seleccionan las investigaciones, si se trata de un proceso de prueba y error, o de un proceso racional, si existe evidencia de esto, y si se trata de una

³⁷ Aquí se puede mencionar tanto los trabajos sectoriales de Pavit, Scherer por un lado como los que han proseguido una lógica de investigar lo invertido en I y D dentro de una función peculiar en modelos neoclásicos. Ver en este caso por ejemplo a Griliches (1995) haciendo un recuento constructivo de los avances en la investigación.

³⁸ Ver, por ejemplo, Gibbons y P. Gummel, (1984); C. Freeman, (1982); y Rogers, 1983, Metcalfe y Boden (1992), Brunner (1994), Basalla (1988), Richards (1985).

misión orientada o no orientada (M. Gibbons, 1984). Para otros la discusión se debe centrar en la interacción entre ciencia, tecnología e industria o en forma de parques tecnológicos. Esta relación se debe constatar históricamente con la primera, segunda y tercera revolución industrial como referencia y analizando la interdependencia en cada una de estas facetas ³⁹.

6. Conexiones entre innovaciones

Rosenberg (1983) ha señalado que una innovación no se da aislada de otras; las innovaciones se interrelacionan. Podrán aparecer un gran número de innovaciones, pero siempre estarán ligadas ya que existe una dependencia técnica entre ellas. Se pueden citar ejemplos, como el desarrollo de la industria textil que implica la concepción de una gran fábrica para cuya evolución se requirieron de innovaciones a nivel del tejido, de la fuerza y la mecanización, de la automatización y del desarrollo de las fuerzas productivas⁴⁰, como estos tanto N Rosenberg y colegas, Freeman y colegas, Nelson y Winter han estudiado estas interrelaciones bajo sectores industriales.

La dependencia técnica entre las innovaciones ha ocasionado que muchos autores coincidan en ponderar la relación evolucionista de las innovaciones y las relacionen con las explicaciones de las revoluciones científicas encontradas en T. Kuhn (1975). En este sentido se habla de trayectorias tecnológicas que forman los adelantos propios de un proceso y de los productos, que se deben más a los imperativos tecnológicos de Rosenberg que a las fuerzas del mercado. Nelson y Winter (1982) discuten bajo un enfoque evolucionista la trayectoria natural y la gran relación que hay con el carácter evolutivo de la economía y la biología. Freeman y su equipo analizan la avalancha de innovaciones ya que estas se desprenden sucesivamente a raíz de uno u otro cambio. Dosi también acuña el concepto de paradigma científico de T. Kuhn para analizar el motivo científico-técnico que promueve a las innovaciones en forma de trayectoria (Dosi, 1984). Por otro lado del análisis B Arthur (1988a,88b) se refuerza las conexiones entre innovaciones ya que analiza diferentes eventos donde hay mecanismos que refuerzan el proseguir con cierta tecnología (no siempre la mejor) a través de *Lock-in* de las tecnologías y que hace que prevalezcan ciertas

³⁹ En este punto véase M. Cazadero (1988) quien ilustra las interacciones entre la tercera revolución industrial y los cambios tecnológicos que se gestan principalmente en el sector energético.

⁴⁰ Ver en este punto a Saviotti (1984). También en los análisis de industrias N. Rosenberg ha analizado históricamente como se ha dado el desarrollo de las industrias y al papel que ha tenido a ciencia y otras fuerzas en la maduración de las tecnologías. Asimismo ha dado elementos para evaluar el papel de las fuerzas de demanda y de oferta en diferentes análisis. Ver Rosenberg (1976, 1982) y Moowery y Rosenberg (1974, 1993).

tecnologías (frente a otras) o que dominen unas sobre otras en ambientes no necesariamente competitivos, y aleatorios.⁴¹

7. Difusión

Los principales desarrollos en la difusión de la tecnología son tal vez los que se discuten en la formulación neoclásica en la cual la nueva tecnología se difunde instantáneamente en todo el capital. Incluso en el modelo Vintaje la tecnología se asocia con el capital que éste implica y la nueva tecnología se reduce a la tasa de inversión.⁴²

En buena parte, los desarrollos basados en este proceso de difusión han sido acogidos generosamente ya que han facilitado y continuado la teoría del crecimiento. Sin embargo, estos planteamientos han sido duramente rebatidos por muchos estudios que ponen énfasis en que la aparición de las nuevas tecnologías resulta de una situación de incertidumbre la cual en realidad nunca se había considerado (Nelson, 1981). Ha proliferado la comprobación empírica de la no automaticidad.

Según Nelson, existen dos clases de mecanismos a través de los cuales tiene sus efectos la difusión de la tecnología: la difusión entre una empresa y otra, y el creciente interés que demuestran ciertas empresas en utilizar innovaciones y que al final separa a unas empresas de otras por tener una mejor tecnología. Aunque se ha comprobado que existe gran incertidumbre por utilizar tecnologías nuevas, no existe acuerdo en la interpretación del comportamiento de las empresas. Las empresas tienen tiempos diferentes para evaluar las tecnologías nuevas y además es diferente el nivel de rango que se considera.

En muchos casos no se garantiza que el capital nuevo tenga una tecnología mejor. Esto se ha observado ya que las empresas consiguen información para evaluar la tecnología nueva con base en una experiencia acumulada. De esta forma la empresa puede retardar la tecnología nueva dado que no ha adquirido la madurez para evaluarla (Nelson, 1981).

El tema de difusión es un tema que no ha recibido la atención como los otros relacionados con la literatura de cambios tecnológicos.⁴³ Muchas son las preguntas que

⁴¹ Foray (1989) hace una evaluación de los modelos de competencia tecnológica y en especial una crítica al de Arthur.

⁴² El desarrollo de estos modelos ha continuado en la tradición neoclásica un poco minimizando la crítica del capital pero también y muy importante dentro de este enfoque haciendo esfuerzos para incorporar en los modelos Vintaje lo diseminado por el propio problema del capital. Véase para este aspecto Jorgenson D y Landau R. (1989).

⁴³ Muchos son los autores que comentan este aspecto. Véase por ejemplo Dosi (1984), Gomulka (1990), Karshenas y Stoneman (1995)

quedan y que van no solo a nivel de la firma sino a nivel industria y sector. En el primero importa conocer la naturaleza de los costos de adquisición, los requerimientos de la mano de obra especializada. Por el lado de los modelos, fuera de los tradicionales hay un vacío al considerar la oferta de innovaciones. A nivel industrial no se sabe la forma como se esparza en las industrias, a que tasa, cuales son los efectos en el empleo, en la distribución, en las relaciones sociales del trabajo, en el transporte etc.. Este tema ha adquirido la atención de diferentes enfoques en especial los evolucionistas como lo mencionan Dosi (1983,84) y Nelson (1994) al discutir la agenda de investigación pendiente⁴⁴.

8. Capacidades tecnológicas de los países menos industrializados

Se observan algunas tendencias desde aquellos países con gran capacidad de absorción tecnológica y que pueden reproducir con efectividad innovaciones que se explotan en el norte hasta los que retoman actividades industriales saturadas en los países industrializados. En los primeros está el caso del sureste asiático durante las décadas de los cuarenta, los cincuenta, los sesenta y los setenta al aprovechar mejor la mano de obra barata y explotar más eficazmente el nicho tecnológico que dejó el país tradicionalmente industrializado. Esto es muestra de que los países centrales no necesariamente tienen las mejores oportunidades en el período de mayor *boom*, y en cambio sí existen posibilidades para los semi-industrializados. Desde luego lo anterior requirió de un desarrollo profesional del aprendizaje así como el considerar la empresa transnacional. El caso de Japón es diferente de los de la región: lo más fehaciente fue su gran capacidad para reproducir y copiar tecnologías, y convertirse en un gran explotador de nichos sin tener la capacidad innovadora a nivel ciencia básica y en cambio sí poder aprovechar sistemáticamente innovaciones posteriores, todo esto gracias a una política proteccionista y redituable y al mismo tiempo a una competencia restringida⁴⁵.

Es posible que efectivamente los países en desarrollo se diferencien de otros más atrasados como los del continente africano. Sin embargo, algunos podrían afirmar que, gracias a los desarrollos de la biotecnología, se podrían rebasar los pronósticos de hambruna y entonces, aparte de resolver problemas básicos, se incrustarían más integralmente al

⁴⁴ Simplemente esta diferencia de las fechas de las citas hace ver la urgencia del tema.

⁴⁵ Ver Ozón (1995) quien hace una discusión de la evidencia de una competencia destructiva al interior del país y en donde la combinación proteccionismo sano con competencia destructiva fue una de las claves para el crecimiento de la producción.

quinto ciclo de largo plazo. En una posición intermedia, estarían los países con una capacidad media para producir desarrollos tecnológicos y con una gran destreza en el aprendizaje de innovaciones y capacidad de explotación.

Es indiscutible que existen diferencias en las capacidades tecnológicas entre países y en especialidades. Estas se han formado y han evolucionado. Sin embargo, las actividades que tienden a ser obsoletas se pueden integrar con relativa facilidad a países en desarrollo debido al interés de los países industrializados o las transnacionales involucradas en la transferencia. Es decir, no le cuestan al país que recibe lo mismo que desarrollar la capacidad para un nicho que naturalmente no está a su alcance. Esto ha ameritado que en el análisis se involucren las fuerzas de expulsión de la actividad industrial de los países industrializados a los menos industrializados en presencia de una saturación del producto y del proceso, y de la nueva tecnología dominante. Las extensiones del ciclo de vida del producto y del proceso vienen a poner cierto precio a la negociación de transferir la tecnología pues todavía existe, por un lado, cierto mercado por explotar frente al alto costo de la tecnología nueva, y, por el otro, la hegemonía, duración y mayor dominio de la innovación.

Desde el punto de vista tecnológico, sería muy difícil integrar un grupo homogéneo de países en desarrollo. El mayor obstáculo serían las limitantes intrínsecas en cada uno de ellos, pero a pesar de ello se podría hablar de cierto grado de industrialización. Por una parte, las fuentes de acceso de una tecnología en países como México son diferentes de las de los industrializados ⁴⁶.

El conocimiento que se tiene acerca de la adaptabilidad, la absorción, el adecuamiento, y, en general, la política económica de fomento de las nuevas tecnologías, ha sido diferente con respecto a la década anterior, repercutiendo tanto en la explicación del desarrollo como en la formación de fenómenos modernos que no han sido asimilados en el proceso de acumulación en presencia de nuevos países industrializados y frente a una innegable contribución de la tecnología al crecimiento.

Muchos de los analistas interesados en explicar el crecimiento de economías como las de Taiwan, Japón, Hong Kong, Singapur, Brasil, India y México han propuesto como tema de análisis el considerar tanto la continuidad en el proceso en el cual es vital el cambio tecnológico, como la revisión de los programas de apoyo a la absorción de la tecnología.

⁴⁶ En el caso de la India, A. V. Desai (1985) agrupa las fuentes de acceso tecnológico en importaciones tecnológicas, investigación y desarrollo de corporaciones, transferencias de laboratorios públicos, transferencia entre empresas, migración del personal, y aprendizaje por experiencia, haciendo énfasis en la transferencia y el aprendizaje de la tecnología.

Bajo esta consideración, Fransman (1984) ha incorporado el concepto de capacidades tecnológicas para entender el proceso tecnológico con todas sus complejidades.⁴⁷ Bajo este enfoque, la evaluación de las tecnologías mediante el concepto de capacidades tecnológicas va por el lado de buscar la tecnología adecuada y apropiada, la habilidad para incorporarla y adoptarla, así como la conducción y las instituciones para la investigación tecnológica. Si bien estas dos últimas representan una mayor dificultad que las primeras, no representan un mayor costo o complejidad. La experiencia de algunos países como Corea ha sido que no basta el *know-how* sino que también se necesita el *know-why*⁴⁸.

Conviene aquí tocar el tema por medio de varios autores de la economía política del cambio tecnológico. L. Corona y C. Leys contribuyen con el planteamiento que la tecnología no es neutra sino que está ligada a relaciones sociales de producción y que al hablar de capacidades tecnológicas como problema tecnológico éstas deben incluir aspectos que traen consigo elementos de la economía mundial y, por supuesto, un nuevo patrón de intercambio que tiende a continuar la desigualdad. Sin embargo, no se descarta la adecuación a los nuevos sistemas tecnológicos como lo han mostrado Japón y, en menor medida, los países del sureste asiático en su énfasis en la conducción de capacidades tecnológicas. Es decir, la importación de tecnologías implica la adecuación al país importador y con esto la transformación de las relaciones de producción. De acuerdo con Morishima, la experiencia de Japón no consistió en la realización de cambios severos en las relaciones de producción, sino en la conducción hacia las formas de producción del sistema capitalista. Solamente Japón, u otro país en condiciones similares, puede interpretar mejor esto último, y no tanto los industrializados generadores de tecnología.

El comercio de la tecnología (la política) está sumergido en un contexto de rivalidad entre una política que promulga el libre comercio y otra que protege la industria y el desarrollo tecnológico. Ambas posiciones han sido discutidas a la luz de países como Hong Kong y Singapur (Ranis, Dore, 1984) y de los planes apropiados de la India (Lall, Kaplinsky, 1984) donde existe el proteccionismo. Las argumentaciones son diferentes y sería difícil optar por una, sin embargo existe consenso en que las importaciones de tecnología son redituables en el mediano plazo y las exportaciones de productos

⁴⁷ Según Fransman, esto implica el desarrollo del proceso del trabajo y la organización social de la producción, la formación del conocimiento de la población, las instituciones y procedimientos que generan otros nuevos conocimientos y, por último, la forma en que los insumos se traducen en productos donde la competencia juega un papel muy importante.

⁴⁸ En otros países donde se le ha prestado atención a este asunto es común encontrar centros que promueven los vínculos entre las industrias y los centros de I y D. Asimismo los programas de entrenamiento y los cursos de administración de proyectos tecnológicos son reflejo de la evaluación de las tecnologías.

consecuencia del desarrollo de las capacidades tecnológicas son también benéficas congeniando aspectos importantes con los esquemas de Nelson y Winter en el sentido de que las capacidades son evolutivas y, por ende, tanto una como la otra en última instancia representan un beneficio para el país. No se puede negar que las experiencias de los países que se han industrializado recientemente no han sido radicales en sus políticas ya que siempre ha existido, tanto en países protegidos como en los que promueven el libre comercio, una política en donde se sustituyen industrias, se protegen y se exportan bienes, y se abren al mercado libre⁴⁹.

Finalmente, otro punto que influye en las relaciones entre los países es la diferencia tecnológica. La frontera tecnológica, tiene implicaciones serias ya que el desarrollo tecnológico hace que los menos industrializados se separen de los adelantos tecnológicos. Sin embargo, dada la actual recesión no debe descartarse la oportunidad para que los países recientemente industrializados accedan a las actividades de los desarrollados, ya que no necesariamente tienen que pasar por las etapas anteriores⁵⁰.

II Trayectorias tecnológicas e innovaciones

1. Conceptos y definiciones

En los capítulos anteriores se usaron indistintamente y sin rigor los términos cambio tecnológico, cambio técnico, progreso técnico e innovaciones. Las diferencias no son tan profundas y obedecen más a las raíces del lenguaje que al desarrollo y complejidad del concepto. Cabe diferenciar entre palabras que se conciben con base en conceptos simples, y palabras que incrementan su complejidad porque el concepto mismo se modifica y se hace más complejo. Si la teoría económica no buscó una explicación en las causas de los cambios tecnológicos mismos, ni en que éstos pudieran ser los protagonistas de los ciclos largos, tampoco modificó el uso del concepto de progreso técnico ni lo hizo más complejo. A estas alturas, cuando la ponderación es mayor, la diferencia puede ser importante. Sin embargo, la idea del progreso técnico se quedó en las concepciones clásicas. Hoy nos sirve para

⁴⁹ Como se mencionó en el capítulo anterior Gereffi y Wyman (1989) y Gereffi(90,92,95) discuten este aspecto bajo la consideración simplista de unilateralidad de proteccionismo y apertura.

⁵⁰ Ver a Pérez C(1993,92) quien discute el reto y las oportunidades de los países en proceso de industrialización para incorporarse a este nuevo ciclo y la carga de una política proteccionista.

reflejar una idea de avance, de continuidad, y lo usamos con cierta generalidad. Casi no se usa el término de progreso tecnológico porque de antemano se concibe lo tecnológico como algo no continuo, como un cambio repentino. Usamos el concepto de cambio tecnológico para denotar un cambio radical, la anulación de una tecnología anterior.

La diferencia entre técnica y tecnología, sin embargo, es más profunda. En economía, y en otras disciplinas, se reconoce a la técnica como una forma de hacer algo. Es un concepto más vasto pues se aplica a la utilización de las herramientas de trabajo, la agricultura, la fabricación de partes, la elaboración de medicamentos, la elaboración de platos alimenticios, hasta el fútbol. La tecnología en cambio es más nueva, pero esto no quiere decir que solamente se le pueda aplicar a situaciones modernas. Se puede usar este término para referirse a la utilización del fuego, o la forma de manejarlo para la cocción de los alimentos, a la forma de controlar las temperaturas en los procesos químicos. Se puede hablar de varias tecnologías para la cocción de alimentos y cada una de ellas tendría diferentes técnicas, así como se puede hablar de diferentes técnicas en el armado de los autos, o en la forma de fabricar el vacío en los bulbos etc.. La diferencia mayor se puede apreciar en el contenido de ciencia y tecnología en la forma de aparatos, equipos, etc. Sería difícil sostener que la técnica va primero, pero tampoco es al contrario. Esta ha sido un punto de discusión y sobre todo cuando se quiere hacer un arreglo en cascada⁵¹.

Los descubrimientos difieren de los inventos en la medida en que estos últimos se incorporan y utilizan. Se descubre el fuego y se inventa su aplicación, su uso. A diferencia de las innovaciones, los inventos se relacionan con usos más autóctonos, con un nuevo concepto de uso y, en algunos casos, con una menor dosis de ciencia y tecnología. La diferencia entre el invento y la innovación de una máquina radica en que esta última surge de un desarrollo científico-tecnológico conocido. Mientras que en la primera, todavía no se contaba con un bagaje teórico o bien todavía no se conocía en forma completa la utilidad de la máquina. Por esta razón es más común hablar de innovaciones. Para que ocurra la segunda, se debe tener una situación donde el ejercicio de la creatividad no esté conectado con el bagaje teórico-científico o el invento sea totalmente independiente de las explicaciones científicas y tecnologías preexistentes o bien que sea un descubrimiento. Pero, también puede ser que los que no tengan un conocimiento científico y sean creativos

⁵¹ La forma de agrupamiento en economía ha sido la de retomar los procesos para ordenar la discusión. Leontief (1947) Sin embargo al incorporar la cuestión de la tecnología como teoría, las limitaciones que se derivan del agrupamiento el cual está muy sesgado por la sustitución del producto en el mercado hacen que el papel de la técnica y la tecnología no sean tan claros. Un análisis basado en este criterio como lo hace Gomulka (1990) es demasiado simplista ya que no toma en consideración la dinámica de la técnica y la tecnología.

lleguen a inventar algo. Esto se observa fácilmente cuando son radicales las diferencias entre países, o entre culturas, o entre grupos de un mismo país. En unos se innova, y en otros se inventa, claro desde la perspectiva de los más avanzados tecnológicamente.

No se puede decir que exista claridad y homologación en estos conceptos. No existen definiciones precisas. Sin embargo, donde hay más acuerdo, es donde hay una definición *a priori*. Los trabajos de Freeman y Rosenberg son muy ilustrativos, ya que aparte de encargarse de una revisión concienzuda de lo que se puede derivar del concepto de tecnología, llegan a esclarecer las principales diferencias con base en una definición schumpeteriana en torno a que los inventos representan ideas nuevas o mejoradas a ser puestas en práctica. Lo anterior implica que la idea básica cabe en un modelo nuevo o en una continuación del mismo. Sin embargo, el invento no significa que, a pesar de que se lleve a la práctica por razones de concretar algo, implique la comercialización (Freeman, 1974). Es decir, la comercialización del invento se refiere a la innovación y también, dada la acumulación de conocimientos, en muchos casos nos ubicamos de hecho en innovaciones que han sido comercializadas y en donde un descubrimiento en esta línea, no lo llamamos invención y luego innovación si lo comercializamos, sino que, de descubrimiento pasamos a clasificarlo como innovación. De acuerdo con Rotwell y Zegweld (1985), la comercialización de una innovación no implica solamente mejores avances tecnológicos, sino también pequeñas aportaciones en el proceso de acumulación del conocimiento y del *know-how* y el *know-when*.

En la teoría económica, el cambio tecnológico es el caso particular del progreso técnico. Esta consideración solamente puede ser válida cuando reducimos todo al nivel del progreso técnico, es decir al estado de avance de las economías cuando éstas se analizaron. En este sentido no podríamos concebir la existencia de una economía más compleja; el cambio tecnológico tiene el mismo lugar en la teoría económica. Por esta razón algunos hablan de la teoría de los cambios tecnológicos -incluyendo aquí una situación más compleja, una cierta independencia de la teoría económica- en tanto tiene paradigmas fuera de las explicaciones económicas y porque en ciertos casos puede dominar sobre el paradigma exclusivamente económicos⁵².

Otros aspectos que se pueden estudiar derivado de las diferencias entre tecnologías y técnicas son las eficiencias. En análisis económico tradicional se discuten por lo regular

⁵² Desde luego que esta concepción es muy diferente al tratamiento de la tecnología con los postulados económicos. El bagaje económico tradicional es lo suficientemente poderoso para hacer de cualquier disciplina su sustantivo, pero lo que se trata aquí no es desde luego la economía de los cambios tecnológicos.

dos tipos de eficiencia, mientras que en el tecnológico puede haber la eficiencia del proceso y puede evaluarse también la redituabilidad de una y otra tecnología, esta redituabilidad esta medida en términos de una valoración tecnológica⁵³.

2. Las interrelaciones entre las fuerzas de expulsión de las innovaciones y las trayectorias

Tanto las teorías que explican el cambio tecnológico mediante la relación entre la ciencia y la tecnología, como las que lo explican mediante el mercado, han sido objeto de crítica. La discusión se ha dado entre la corriente encabezada por los trabajos de Schumpeter que considera a la tecnología como un elemento en parte exógeno a la economía, bajo la consideración de que los cambios e innovaciones tienen su origen en la ciencia y ésta se presenta independiente del fenómeno económico, y Schmookler, quizás el autor que ha puesto más énfasis en las fuerzas de demanda como protagonistas de los cambios tecnológicos. El diagrama D-A3-1, (figuras a,b,c,d,e) esquematiza los principales enfoques.

Existen numerosos análisis y revisiones de los planteamientos de la fuerzas de la demanda. Nelson discute la teoría neoclásica del crecimiento y los fundamentos de la función de producción. Mowery y Rosenberg (1983) critican el enfoque del mercado como explicación de los cambios tecnológicos y a éstos se suman los trabajos de Nelson y Winter (1982), Dosi (1984) y muchas comprobaciones empíricas⁵⁴. De acuerdo con Mowery y Rosenberg, existe una gran confusión al no definir claramente entre las características del mercado y las necesidades humanas base de sus argumentaciones. Desde una perspectiva más general, el análisis falla al no entender la complejidad de los procesos en los cambios tecnológicos⁵⁵.

⁵³ En el primer caso se habla de eficiencia distributiva y x eficiencia, Leibenstein (1989). En el segundo la eficiencia que ha normado a la mayoría de los procesos y que es una medida de rendimiento entre lo que entra y lo que sale. También se valua la eficiencia de una tecnología en términos de otros parámetros característicos a cada tecnología pero sin considerar el precio,...

⁵⁴ En verdad es difícil seguir con cierta actualidad la cantidad de estudios que muestran la no operatividad del mercado como protagonista en la innovaciones. Se pueden mencionar recuentos de artículos desde los estudios que analizan el proceso de las innovaciones en diferentes sectores donde Rosenberg (1979), Mowery D. y Rosenberg (1989) han discutido ampliamente, los trabajos sectoriales de Patel y Pavit (1995), Scherer (1982), y como reciente lo muestra Cohen (1989,95), no se puede hablar ya del mismo nivel de discusión ya que si bien hay comprobaciones por el lado de la demanda más hay en su contra.

⁵⁵ De acuerdo con Dosi (1984), se pueden sintetizar las teorías del mercado en: la existencia de un conjunto de bienes intermedios de consumo en un momento dado; un mercado que considera las diferentes necesidades de los compradores, consumidores o usuarios que expresan sus preferencias por los bienes mediante patrones de demanda; una relación positiva entre mayor ingreso y mayor satisfacción dadas las características y preferencias de los consumidores (se satisfacen más adecuadamente las necesidades); no existe una necesidad imperiosa por parte de los productores dado que tienen un mayor peso las dimensiones de las utilidades que los consumidores. Sobre esta base se inicia el proceso de innovación, las empresas con éxito traen sus productos al mercado satisfaciendo las necesidades de los consumidores. Con base en lo anterior plantea sus

Las críticas que se hacen a los planteamientos del mercado en relación con la tecnología no son muy diferentes de los planteamientos neoclásicos en general; solamente que aquí se considera la especificidad del proceso tecnológico. Del trabajo de Schmookler, Wals (1979) discute la metodología que sigue al emplear patrones: agregados de patentes y fallar en las interpretaciones de éstos para el entendimiento de los principales descubrimientos e inventos que inciden en los sectores y subsectores de la industria. De acuerdo con Dosi, las mayores debilidades en la versión de la demanda desde un extremo de la argumentación sobre la explicación de los cambios tecnológicos son: a) el concepto confuso de pasividad y reactividad mecánica al cambio tecnológico frente a las condiciones del mercado; b) la incapacidad de definir el porqué y el cuándo de los acontecimientos del desarrollo tecnológico en lugar de otros o en un determinado tiempo en lugar de otro; c) no considera cambios en el tiempo en la actividad inventiva los cuales a su vez no guardan relación con los cambios explicados por el mercado.

Las limitaciones de la teoría de la demanda se ven reflejadas en los estudios empíricos pero al mismo tiempo la confianza en el mercado como medio para racionalizar precios es una carga que difícilmente se puede omitir. Es decir, en el fondo prosigue la necesidad de una especie de anti-dogmatización por el mercado pero al mismo tiempo una cierta inercia y necesidad moderada por su aplicación. En cierta forma, lo que los economistas clásicos no llevaron al extremo, lo que no hicieron, sí sirvió a la escuela siguiente para edificar su teoría. Por esto, en el campo de las innovaciones, se plantea el mismo problema que en otras situaciones donde se manejan productos y servicios. Así como hemos podido entender las limitaciones del mercado cuando éstas se llevan al extremo, no hemos todavía creado un sistema que sustituya lo elemental del mercado. Quizás en este punto es donde no se le haya encontrado una salida a la discusión, y esta es también, en este sentido, la situación de las innovaciones. Es decir, los argumentos del mercado son importantes en la definición última de los cambios tecnológicos, pero -como han mostrado Mowery y Rosenberg- no son de ninguna manera los primeros incentivos y elementos en la determinación de estos cambios.

Por otro lado, también son objeto de la crítica las dificultades de las tesis que apoyan los cambios tecnológicos en una sola dirección, es decir, "ciencia-tecnología-producción". En el mismo sentido en que se critica a las teorías de la demanda como las

principales críticas: a) la teoría general de los precios se determina por la oferta y la demanda; b) la dificultad de definir las funciones de demanda mediante funciones de utilidad y el concepto que ésta implica; c) las dificultades en interpretar el proceso de las innovaciones a través de este aprovechamiento (Págs. 8-10).

únicas, se hace lo mismo con las explicaciones del cambio tecnológico mediante la oferta. A pesar de la complejidad del proceso que encierra las explicaciones por el lado de la oferta, no se puede ignorar el papel del mercado en la demanda general, en la forma como afecta tanto la tasa como la dirección del cambio tecnológico. El problema es complejo porque los factores económicos influyen perversamente cuando se tienen situaciones de crecimiento y existen variaciones en las proporciones de producción y cambios en los precios relativos que de una u otra forma actúan sobre la tasa de actividad de las innovaciones al grado de endogeneizarlas al proceso económico. El mismo concepto de mercado puede ser confuso o muy simple para la complejidad de los procesos que supuestamente toman parte en él. Si el mercado es el lugar de reunión entre oferentes y demandantes no se puede separar ni los individuos ni las firmas como demandantes ni todos los factores que entran en una sola dirección tecnología -producción del lugar del mercado, es un problema de no separación. El mercado desde luego implica más que un lugar físico ya que bien puede haber un demandante y un productos y entonces ellos mismos formen el mercado.

Las fuerzas de oferta son mas difíciles de conjuntar ya que no solo están los actores en la producción que pueden innovar sin la sombra de lo que pase por el mercado, o las fuerzas culturales, sociales, institucionales, de medio ambiente, que están muy alejadas del mercado, o la evolución de una tecnología que depende por si de elementos intrínsecos y por elementos de otras tecnologías que a su vez pueden depender del mercado o no. La modelación de la demanda como fuerza de expulsión de las innovaciones no hay duda a contribuido a simplificar el problema ya que solamente hay que delinear las necesidades de los consumidores. Esta ha sido una razón poderosa para que los modelos puedan continuar ya que de otra forma las complicaciones para modelar la oferta pueden ser mucho más complejas de lo que aparentemente encierran. En este sentido, es como se critica severamente la timidez de la teoría económica por no reconocer la influencia del proceso productivo sobre los cambios tecnológicos.

Las discusiones en torno a la emergencia de los cambios tecnológicos se han basado tanto en discutir primero la procedencia como se vio anteriormente y la consideración de otras fuentes como la sociales, antropológicas y biológicas. En segundo se ha discutido bajo el enfoque evolucionista la forma o el patrón que toman las innovaciones, su conexión entre ellas y la relación entre el paradigma tecnológico y la trayectoria. En tercero se ha analizado los procesos que toman parte para que se encuentre algo nuevo, a nivel del científico, o del tecnólogo, o del biólogo, o del economista, o del sociólogo. Es decir los procesos que se dan

en los individuos para generar las conexiones entre argumentos, la solución de problemas y dilemas como lo comentado Rosenberg en diferentes pasajes.

Un modelo más representativo del esquema de reproducción de los cambios tecnológicos es iterativo. Este modelo considera las innovaciones como lógicamente secuenciales, pero no necesariamente en un proceso continuo donde las funciones pueden ser separadas aunque interactúen en etapas interdependientes. En general, se puede ver el proceso como una comunicación compleja tanto inter-organización como intra-organización ligada a funciones nacionales y que relaciona a la empresa con los aspectos generales de la ciencia, la tecnología, y el mercado.

Este proceso está vinculado con la idea de trayectoria tecnológica y paradigma tecnológico⁵⁶. Son ya muchos los autores que comparten este planteamiento. Sin embargo hay problemas en la concepción de cada uno de ellos y más bien pueden ubicarse a problemas metodológicos. El planteamiento de trayectoria se relaciona con lo que Rosenberg llama imperativo tecnológico y en lo que Nelson y Winter conciben como una interdependencia de las innovaciones basadas en un régimen tecnológico. Existen desde luego problemas para relacionar el concepto de trayectoria natural con una dinámica de cambio. Lo natural de hecho implica una extensión innecesaria, o bien presupone en todo caso que cualquier problema pueda verse como natural. Es natural un movimiento continuo y es natural un movimiento discontinuo. La cuestión de natural es un problema que dificulta el concepto de trayectoria⁵⁷.

Otro problema es la definición de paradigma tecnológico basado en el paradigma científico de Kuhn (1972). A pesar de que este último genera una definición con base a la ciencia, Dosi en especial le da un tratamiento paralelo a la tecnología. El programa de investigación que forma parte del concepto de paradigma se aplica a cualquier disciplina y más bien la diferencia estriba en el contenido de los aspectos que se discuten y los puntos a favor y en contra en cada una de las comprobaciones que se quiere hacer. El problema con el concepto de paradigma implica una discusión mayor desde el punto de vista metodológico y en todo caso acudir a lo que Kuhn posteriormente discute como matriz disciplinaria y entonces el concepto de paradigma tendría que discutirse con mayor amplitud⁵⁸.

⁵⁶ Winter (1979), Nelson y Winter (1982) como Dosi (1984) plantean más específicamente los cambios tecnológicos en términos de trayectoria tecnológica.

⁵⁷ Ver a Mackenzie (1992) para una discusión relativa a la cuestión de lo "natural".

⁵⁸ El término paradigma inclusive ahora ya no es tan afortunado como implícitamente lo pone de manifiesto Kuhn al utilizar "ejemplares" pero que al final viene siendo lo mismo. Ver a Kuhn (1975) en especial la parte de posdata 69.

Por otra parte un programa implica que en un proyecto unidireccional se tenga como objetivo llegar a una meta predeterminada lo cual da cabida a la potencial innovación. Sin embargo en este proceso no todas llegan a su objetivo y en cambio si hay otros resultados favorables y desfavorables, de magnitud e incrementales, unidireccionales y fuera de rango⁵⁹. Esto desde luego tiene implicaciones para la concepción de la trayectoria tecnológica ya que algunas innovaciones que estuvieran en el programa de investigación, por decirlo así, no tuvieran nada en común con el paradigma. En términos económicos tradicionales se hablaría de que en este proceso implica economías de escala y de alcance.

En realidad son muchos los trabajos que coinciden con la idea de trayectorias. Sahal (1985) plantea que las innovaciones pueden ser analizadas mediante el desarrollo de sistemas de innovaciones. Las innovaciones, su nacimiento y origen están íntimamente relacionadas con el tamaño y la estructura. Las innovaciones pueden ser explicadas mediante su morfogénesis, es decir, la suma de todos los procesos para obtener una innovación específica y distintiva. Así, mediante este planteamiento se desarrollan tres posibles obstáculos clásicos de las innovaciones y que a su vez las clasifican en: materiales, estructuras y sistemas. El proceso de innovación implica la evolución de las innovaciones que se puede describir por la topografía que adquiere en su evolución. En sí, la topografía de la evolución está compuesta por los elementos que guían las decisiones, señales, rutas y avenidas; una vez tomada una decisión se entra en otra avenida o ruta. Las avenidas o rutas están compuestas por diferentes facetas en donde se desarrollan las innovaciones y en donde se podrían dar ciclos de productos, duración y tiempo. Estas rutas pueden diferir entre cada industria y pueden implicar grandes dificultades; en algunos casos las rutas son amplias y en otras angostas. El proceso tecnológico se determina al final por decisiones de oportunidad y necesidad, y encierra un proceso dual donde existe un objetivo y un instrumento al mismo tiempo.

El planteamiento de Sahal (1979,81,84,85) se basa en la consideración de la industria aeronáutica, la maquinaria agrícola y la electrónica dentro de un conjunto de explicaciones que tienen como base variables tecnológicas y a lo que está detrás de una explicación más científica y técnica que económica⁶⁰.

⁵⁹ Ver Gibbons (1984) quien discute la efectividad de los programas científicos.

⁶⁰ Mowery y Rosemberg en diferentes trabajos han estudiado muchos casos de las industrias en los Estados Unidos de Norteamérica enfatizando en la conexión de las variables tecnológicas y dando pauta para hablar de las avenidas tecnológicas.

Desde el punto de vista de Nelson y Winter las trayectorias naturales pueden ser específicas a una tecnología particular definida como régimen de la trayectoria, la cual implica una frontera en el conocimiento y en las aplicaciones. El ejemplo que proporciona el autor, el aeroplano DC3 en los años treinta, define una trayectoria particular en el sentido de especificar el metal de la cubierta, las alas y los pistones de potencia. A partir de esta trayectoria y de este régimen se explotan otras innovaciones haciéndolas más potentes, más grandes y más eficientes. No hay duda de que el especialista en aeronáutica, el ingeniero, reconoce las posibilidades de explotar el régimen de la trayectoria, ya que existen los conocimientos. Por ejemplo, con base en los principios de la termodinámica se pueden mejorar las presiones y las temperaturas. Existen conocimientos para los especialistas con respecto a una lógica en la dirección de la trayectoria. La eficiencia del avión puede ser mayor si se evita o disminuye la resistencia al aire. Esto, que conocen bien los ingenieros, determina no solamente el sentido de las innovaciones para incrementar la velocidad sino que indirectamente genera otras al presentar problemas de presurización de la cabina y el aire acondicionado. Lo anterior poco tiene que ver con las fuerzas de la demanda. Además de que en este nivel las innovaciones son pioneras en la trayectoria, no existe todavía el producto en el mercado, no hay fuerzas de presión por el lado de la demanda pues no se ha revelado el producto en el mercado. A diferencia de lo anterior, está la situación de varios DC3 donde probablemente existan presiones para innovar y mejorar la cabina, mejorar los cinturones de seguridad, hacer más confortables los asientos, servir bebidas alcohólicas para relajar, contratar personal especializado y eficiente, etc., todo esto debido a las fuerzas de la demanda⁶¹.

Son varios los autores que expresan conformidad con los elementos en común de las trayectorias al hablar del aprovechamiento sistemático de las economías de escala y la mecanización, como trayectorias tecnológicas. En las primeras, se puede hablar de cierta insistencia en la reducción de costos y, por lo tanto, orientar la trayectoria a escalas que limiten la producción. En buena medida, las fronteras productivas están asociadas a limitaciones de tamaño que no se ven condicionadas por las capacidades del equipo y que, a su vez, son las que motivan las innovaciones, ya que al incrementar el tamaño, se pueden reducir los costos. Estos estudios se pueden observar, por ejemplo, en la generación de la

⁶¹ El ejemplo anterior puede dejar en claro la posición de algunos investigadores de dar relevancia al ciclo de vida de los productos y a los procesos. Abernathy y Utterback (1978) han estudiado esto con base en la industria del automóvil en los Estados Unidos.

energía eléctrica, la construcción, la industria textil, la industria química⁶². En el segundo caso, la tendencia a la mecanización ha sido objeto de una persistente avenida tecnológica que a su vez ha dado mayores innovaciones. La mecanización de acuerdo con Nelson y Winter ha sido vista como una forma natural de reducir costos, e incrementar la precisión y el tamaño de la producción⁶³.

Bajo una consideración de fuerzas de demanda y de oferta el planteamiento antes descrito acerca de las causas de las innovaciones puede tener dos apreciaciones. La primera es una persistencia por concebirlas exclusivamente dentro de un contexto económico. Es decir, el hecho de que sean las fuerzas de la oferta las que se responsabilicen por la salida de nuevas innovaciones engloba un esquema de argumentación en el análisis económico. Tal vez el punto a considerar sea que se consideren tanto las fuerzas de la oferta como las personificadoras del cambio tecnológico. Simplemente lo que se está describiendo aquí es todo lo relacionado con las fuerzas de la demanda y lo diferente de las mismas fuerzas. Luego, aparte de incluir las fuerzas autónomas en la propia ciencia -la tecnología- existen otras que atañen a la administración y la organización, y otros que responden mas a aspectos sociales y psicológicos. Esta última desde un punto de vista psicológico el *self-fulfilling* como una forma patológica de poder y en donde el carácter del empresario emprendedor de Shumpeter cobra vigencia.

La segunda tiene un alto grado de generalidad. Dosi descifra esta generalidad en términos del proceso innovativo y la complejidad del proceso. La actividad innovativa tiene explicaciones multivariantes y cierto grado de interrelación entre factores de la ciencia y factores económicos. Metcalfe enfatiza en la concepción de la estrategia la cual está determinada por el paradigma, la agenda y la selección.

A pesar de que se ha pretendido que la variación y la selección son los elementos que han predominado en los modelos evolucionistas no siempre se ha podido reflejar como la principal fuerza que determine la evolución. Batalla (1988) discute la evolución de las tecnologías dentro de un marco histórico y antropológico y habla de la diversidad, de la necesidad como elementos de la evolución. Otros autores Metcalfe y Boren (1992) se concentran en la variación ciega y la retención selectiva⁶⁴. De acuerdo con Nelson (1994) estos autores desarrollan el tipo de modelos donde la tecnología y la industria se cohesionan

⁶² ver a Rosenberg, Mowery, Freeman...

⁶³ ver a Nelson y Winter (1982, 1984)

⁶⁴ Este planteamiento parte de Campbell, (1987) quien discute la negativa a que la variación ciega tenga un comportamiento random.

dando como resultado un proceso que genera un crecimiento de la productividad. A la par de los modelos que incorporan la teoría de Caos⁶⁵, no es claro el papel, que se dice reflejar los elementos de variedad y selección.

Dosi define la trayectoria tecnológica como la actividad para resolver problemas normales bajo el paradigma tecnológico. La dirección de la trayectoria se acerca a los conceptos de Nelson y Winter sobre trayectoria natural y el régimen de la trayectoria ya antes comentados. Un cambio de paradigma implica la ruptura de la trayectoria. Esto permite introducir subniveles en las trayectorias que reflejan si bien no el cambio del paradigma si modificaciones substanciales. La dominancia y vigencia del paradigma se traducen en la trayectoria. Un preparadigma es un paradigma que lucha por ganar hegemonía sobre el vigente. Una potencial trayectoria es cuando esta dominada por un preparadigma⁶⁶.

Se puede decir que el planteamiento de Dosi es una continuación de la escuela de Freeman ya que este último tiene interés en relacionar las innovaciones con la teoría de los ciclos largos. En este sentido, Dosi desarrolla el concepto de sistemas tecnológicos expuesto por Freeman, pero a un nivel micro. Existe pues una consistencia en este nivel entre el sistema de innovaciones y la trayectoria tecnológica.

A pesar de que se ha avanzado mucho en la formulación de la concepción del paradigma tecnológico y la trayectoria (inclusive con los problemas metodológicos y el paralelismo con la tecnología, y la unidireccionalidad del cambio tecnológico), no se ha podido relacionar con el proceso de difusión o de utilización de determinada innovación en las industrias y en los sectores productivos lo cual implica en otros términos diferentes grados de afectación. No se compara aquí con un problema de externalidades ya que desde el principio no se concibe un mercado competitivo sino que a partir de un modelo evolutivo que implica una retroalimentación de elementos no solo económicos sino tecnológicos, científicos, sociales, culturales, institucionales que dan cabida a que prevalezca la variedad se llega a concebir diferentes impactos y grados de permeabilidad.

Por último, el tema de la cuestión de los procesos que toman parte en la actividad cotidiana, del que hace la innovación, desde una perspectiva individual, puede basarse en la necesidad, la diversidad y el desarrollo de actividades desde la observación, la comparación, las analogías. Kuhn (1975) se refiere a las capacidades que se tiene que desarrollar para

⁶⁵ Ver por ejemplo Allen, (1994), Brunner (1994)

⁶⁶ Como se verá en el capítulo 5 y 6 en el caso de las turbinas y en la metal mecánica se pueden identificar las trayectorias potenciales.

lograr estadios mas avanzados de capacidades. En el siguiente pasaje se observa las actividades que toman parte en la obtención de capacidades

..... el estudiante, descubre una manera de ver el problema, *como* un problema que ya habia encontrado antes. Una vez captada la similitud, percibida la analogía entre los problemas distintos, puede interrelacionar simbolos y relacionarios con la naturaleza de las maneras que ya han resultado efectivas antes. El esbozo de ley, como por ejemplo $f=ma$, ha funcionado como instrumento, informando al estudiante de las similitudes que debe buscar, mostrándole la *Gestalt* en que puede verse la situación...

(Pág. 290)

El desarrollo de estas capacidades es fundamental para aumentar la capacidad de llegar a un problema y resolverlo. Estas características están desde luego en los individuos y forman la base para encontrar los punto centrales de lo que se quiere encontrar. Desde luego que esto no atañe a la ciencia exactas exclusivamente sino a cualquier ciencia, técnica, o problema. Sin embargo si se puede aprender formalmente. De hecho para muchos lo que mas vale de la educación es el desarrollo de estas capacidades.

3 Análisis sectoriales e intentos de agrupar y taxonomizar las innovaciones

Las innovaciones que están contenidas en lo que pueden ser los sistemas tecnológicos a la Freeman, o desde el punto de vista de las trayectorias tecnológicas, de hecho engloban a las que podrían estar explicadas por un paradigma tecnológico y las que obedecerían a fuerzas de mercado. O mejor dicho, las que provienen del mercado seguirían el patrón del imperativo tecnológico expuesto por Rosenberg. Es decir, por un lado, la idea de concebir un sistema tecnológico se aboca a dar continuidad a la relación entre largo y corto plazo mediante el análisis de ciclos largos e innovaciones y lo mas importante como cambia la estructura productiva en esta interface. Por el otro, desde el punto de vista tecnológico, la normatividad de las innovaciones radica en cierta dependencia técnica, un rasgo común de cualquier innovación, ya que cualquiera, para poder ser concebida, antes de someterse a una selección bajo la influencia de otra fuerza, como el mercado, la gerencia, o la cultura, tiene de por sí un vínculo de dependencia con las posibilidades técnicas. Desde esta perspectiva, no se coartan las fuerzas del mercado como promotoras de las innovaciones, solamente se delimita su influencia en la selección. En el fondo no necesariamente todas las innovaciones se tienen que someter al mercado para tener éxito.

En todo caso, el mercado actuaría cuando hubieran formas parecidas de producir, la bendición del mercado se reduciría enormemente ya que también actuarían otras determinantes en este mismo nivel.

Por lo anterior, se le pone especial interés a medir el imperativo tecnológico, la sección de la trayectoria explicada por variables técnicas y no de mercado. En los últimos años, las investigaciones han enfatizado el análisis minucioso del agrupamiento de las innovaciones, y en muchos casos, han caracterizado cuándo las innovaciones son autónomas para de esta forma elaborar una teoría del cambio tecnológico. Para esto último, se han tenido que superar diferentes metodologías de análisis, encontrando en la mayoría una menor dependencia del mercado, una mayor dependencia tecnológica, un agrupamiento con base en la permeabilidad de la innovación, un agrupamiento con base en el sector innovador, en su ciclo de vida, y en una convivencia dual.

Al hacer que el agrupamiento forme parte del eje del análisis, se perdió consistencia con los enfoques que originaron la discusión. Muchos especialistas piensan, por ejemplo, que los análisis de sectorización promueven un agrupamiento que se aleja de los sistemas tecnológicos generados por la dualidad ciclos e innovaciones, y que en lugar de resolver, se distancian de esta posición. Otros como Pavit (1984) y Scherer (1982), en cambio, han trabajado por una línea más homogénea al estudiar industrias especiales y las fronteras de influencia de las fuerzas del mercado ⁶⁷.

Por un lado Scherer (1982) analiza los flujos de innovaciones de las industrias de la economía de los Estados Unidos mediante la matriz insumo-producto. A partir de flujos de gastos en investigación y desarrollo en las industrias desde su origen hasta su uso, obtiene las relaciones intersectoriales sobre cuánto se genera y usa en cada sector en relación a lo gastado en investigación y desarrollo. El autor concluye en la importancia de ligar innovaciones y crecimiento económico mediante la fracción de las industrias donde la I y D se orienta hacia productos y la evidencia de que los crecimientos más importantes en la productividad se dan o provienen cuando se usa I y D y no tanto cuando se produce. A pesar de que los trabajos de Scherer no solamente iniciaron la búsqueda sobre cuáles industrias usan y producen las innovaciones, tanto en una economía cerrada como en una abierta, sus correlaciones son limitadas en el sentido de que en la medida en que se amplía el número de industrias por grupo, las correlaciones pierden fuerza de asociación cuando se trata de dos dígitos. De esta manera las asociaciones más importantes se dan a nivel de cuatro

⁶⁷ Scherer (1982, 84)

dígitos y, por lo tanto, no se generaliza ya que el tamaño, el capital, las tecnologías, etc., están implícitas en el análisis. Además, debido a la forma de interpretar las innovaciones en uso y producidas, no hay muchos elementos para distinguir entre una innovación derivada del proceso y otra del producto. Aún así, dado que se asume que la diagonal de la matriz representa las innovaciones de proceso, puede entenderse que se privilegien las de producto. Es decir, a pesar de que se pueden encontrar situaciones donde una innovación de producto no implica una contrapartida de proceso, no existe una cabal distinción entre un proceso y un producto. Por otro lado, si se parte de una muestra, las sospechas se inclinarían en no prestar atención a pequeñas y numerosas innovaciones requeridas para llevar a cabo adaptaciones de innovaciones de producto. Si es así, se pierde el sentido de continuidad marcado por este tipo de innovaciones menores, fortaleciendo un análisis de tipo estático.

Pavit (1984), con base en la economía del Reino Unido, analiza patrones sectoriales de cambio técnico mediante la información de 2000 innovaciones significativas desde 1945. Dentro de los aportes más importantes están: la lógica del conocimiento tecnológico es acumulativo variando entre los sectores, la fuente y la dirección⁶⁸. Las principales innovaciones se dan en la industria química y la electrónica, y se desarrollan innovaciones sobre un grupo específico de productos y en un rango considerable en su sector principal. Las empresas en los sectores mecánica e instrumentos son relativamente pequeñas y especializadas, tienen una relación simbiótica a escala con las grandes empresas y los sectores intensivos como la metal mecánica, las manufacturas y la industria automotriz que hacen contribuciones importantes a su propio uso. Por último, las industrias textiles en general son tomadoras de innovaciones. A pesar de que la taxonomía de Pavit es muy alentadora, existe la dificultad en ubicar con mayor precisión a las innovaciones de acuerdo a la procedencia por sectores impactando a su vez para concebir una continuidad en el proceso. La clasificación a la que llega Pavit no se preocupa en sí por agrupar las innovaciones, sino que prioriza los problemas relacionados con una estructura industrial y la lógica de integración.

En otro estudio (1989) Pavit, Robson y Townsend agruparon las innovaciones con base en 4000 innovaciones significativas detectadas por expertos. A partir de este número, las innovaciones se han agrupado en industrias dominadas por la oferta, el tamaño y la escala, la especialización y la ciencia básica. Basados en otros estudios que le dan relevancia

⁶⁸ ver también Pavit *et al* (1987,95)

a la estrategia competitiva, han concluido que las oportunidades y ventajas (a la Porter) son mayores en la industria química y en firmas de ingeniería. La naturaleza de las oportunidades tecnológicas así como la organización para la explotación varían con el número de empleados teniendo mayores posibilidades las empresas que tienen menos de 1000. En su análisis se alcanzan a descifrar las trayectorias tecnológicas de acuerdo con el agrupamiento de las innovaciones y extendiendo el análisis a largo plazo. El cuadro A3-1 muestra estas trayectorias.

A pesar de que D. Archibugi (1988) critica severamente el trabajo de Pavit (1984) por abandonar la taxonomía de Freeman (lo cual se comentará posteriormente), implicando un distanciamiento de los sistemas tecnológicos y sus efectos a largo plazo, no considera a fondo la permeabilidad de la innovación la cual es fundamental para medir la profundidad de la innovación si se considera el concepto de trayectoria tecnológica. De acuerdo con Archibugi, el concepto de trayectoria tecnológica y los estudios realizados han omitido el grado de permeabilidad de la innovación. Por esto, la crítica va en el sentido de que la clasificación hecha por Pavit y colegas, solamente considera al sujeto como el punto central en la clasificación y omite el objeto, la innovación, y la base para concebir la permeabilidad de la innovación. Es decir, no solamente se debe estudiar quién la hace, la empresa, el sujeto, etc., sino el objeto, la innovación en sí, el vehículo de cambio, lo que contiene la innovación. Tal vez, por esta razón, en su último artículo, Pavit y colegas (1989) agrupan a los estudios que consideran un comportamiento cíclico y en donde, según Pavit, se centra la medición del impacto de la innovación. De cualquier forma, la crítica de Archibugi tiene sus efectos: logra que en su próximo análisis el grupo de Pavit conciba trayectorias tecnológicas y reconozca la medición de la permeabilidad como central.

Al igual que los estudios hechos a partir de la matriz de innovaciones industriales, no hay una clara distinción entre las innovaciones y el proceso. De acuerdo con la metodología usada por Pavit, se les puede representar por la intensidad del capital, la relación entre el capital y el personal ocupado, el tamaño promedio de la planta o un indicador de concentración de ventas. De todos estos, se impone que solamente se detectan las innovaciones profundas en los procesos, pues no se registran cambios en estos coeficientes sin que cambie todo el proceso. Tampoco se toman en cuenta las innovaciones pequeñas en los procesos y a pesar de que su impacto no se compara con el de las innovaciones radicales, sí se le puede comparar con los procesos de pequeñas innovaciones

de productos los cuales, más aún, no necesariamente dependen del mercado sino de los nichos tecnológicos.

Para la medición de la permeabilidad, Archibugi propone una recapitulación, ya que en la discusión existen muchos desacuerdos y malentendidos sobre lo que implica la innovación revolucionaria y la evolucionaria, y sobre las fuerzas que predominan en cada una de ellas. Su propuesta es una estandarización de la precisión y la medición de las innovaciones. Identifica tres coordenadas y sus combinaciones con base en un arreglo de la información: el grupo tecnológico al cual pertenece la innovación, la actividad económica del grupo que produce la innovación, el sector que utiliza la innovación (primera aplicación). El punto central es hacer coincidir los elementos tecnológicos, de mercado y otros en la agrupación y que el agrupamiento no solamente pondere el efecto tecnológico sino también el económico.

Dentro del agrupamiento de la corporación, industrias o sectores específicos se puede hacer referencia a los trabajos de Abernathy y Utteback que se concentran en el estudio de empresas grandes y productos durables. Con base en la industria del automóvil, los autores estudian el ciclo de vida del producto y del proceso como continuidad. Siguiendo en parte la tradición de los primeros análisis hechos por Vernon, los autores encuentran las condiciones en donde las innovaciones se relacionan con las fases del ciclo de vida tanto de los productos como del proceso. Inclusive este seguimiento ordenado refleja que las empresas primero innovan en las fases de producto y luego en las del proceso.

A pesar de que este tipo de análisis desde el principio tiene una orientación diferente de la de los sistemas tecnológicos, sí contribuye a desmistificar el mercado como condición para la innovación. Es decir, analiza y evalúa la fuerza del mercado⁶⁹, llegando a una caracterización de la innovación y de la actitud competitiva.

Abernathy y Clark (1985) desarrollan una clasificación con base en el concepto de "transilience" (transitoriedad), la capacidad de una innovación para influir en los sistemas establecidos tanto de producción como de mercado generando cuatro tipos de innovaciones: la arquitectónica, los nichos, la regular y la revolucionaria. El estudio hace énfasis en las categorías utilizadas en la industria automotriz y su relación con los diferentes patrones de evolución y los ambientes de la dirección gerencial. En especial se refiere al papel de la

⁶⁹ El estudio analiza el carácter evolutivo de las innovaciones con base en productos y procesos, y dentro de un marco de ventaja corporativa teniendo como escenarios los períodos de flexibilidad, de competencia intensa y de liderazgo tecnológico. De la fig. V-2a se observa que hacia abajo se identifica la ventaja corporativa, desde una ventaja en las inversiones nuevas hasta el aprovechamiento de las innovaciones cuando decrece la tasa de las innovaciones.

gerencia y la forma como se efectúan las decisiones en este nivel dada la influencia de la competencia, es decir, cómo influye el mercado sobre las innovaciones.

Dentro de esta misma línea, Clark analiza la secuencia de los cambios tecnológicos bajo presión de la demanda. Establece un marco de referencia entre el diseño de las decisiones, por un lado, y los gastos de los consumidores, por el otro. Con base también en las industrias del automóvil y de los semiconductores, argumenta que la lógica de las decisiones y la solución a los problemas dentro de la empresa y el desarrollo y formación de conceptos que se dan detrás del mercado imponen una estructura jerárquica en la evolución de las tecnologías. De esta forma, se desarrollan movimientos en el diseño de las jerarquías implicando la continuidad de ciertas líneas de innovaciones o bien cambios radicales. Clark propone que cuando no se dan refinamientos en las innovaciones pueden ocurrir cambios más radicales lo cual implica una agenda tecnológica. Esto coincide con los enfoques organizativos bajo el concepto de discontinuidad tecnológica donde ocurre, más que una competencia destructiva, una competencia mejorada ya que las destructivas implican la introducción de nuevas firmas al mercado. Malerba (1985), uno de los autores que analizan la influencia del mercado en este tipo de industrias, en especial en la industria de semiconductores en Europa, Japón y los Estados Unidos, encuentra que esta variable afecta el crecimiento de la industria y las innovaciones.

Este tipo de estudios a nivel corporativo ha demostrado que si en una parte del ciclo las fuerzas de mercado no comandan totalmente, en otras dominan y en general el objetivo de las innovaciones es alargar la vida tanto de los productos como de los procesos. Sin embargo, esto que se presenta con más especificidad en la industria del automóvil, no ocurre con la misma magnitud en toda la industria. Asimismo, dado el interés en descifrar la influencia del mercado, otras extensiones se han desarrollado al grado de implicar las innovaciones con periodos mayores a través de innovaciones revolucionarias como las catalogadas por Abernathy y Clark. Por esta razón, aun a nivel corporativo se denota que el énfasis de las investigaciones ha cambiado también; ya no contemplan mayores periodos como en un principio lo apreciaron Nelson y Winter.

4. Un agrupamiento de las innovaciones

El agrupamiento propuesto por Freeman y Corona explícitamente involucra problemas de largo plazo. Tiene un alto contenido económico y se le puede considerar

como una continuidad de las trayectorias tecnológicas. La clasificación de las innovaciones da lugar a las incrementales, las radicales, los sistemas tecnológicos y las revoluciones tecnológicas⁷⁰. Como lo menciona Archibugi (1988), en esta clasificación, aparte de dominar un criterio económico, existe el problema de las unidades de los sistemas y de las revoluciones tecnológicas. Es decir, existe la diferencia entre una situación *ex-ante* donde se puede concebir la unidad de las innovaciones, ya sean incrementales o radicales, y una *ex-post*, donde no sabemos qué tipo de innovaciones contienen los sistemas y las revoluciones. A pesar de que esto último lleva a Archibugi a ver una aplicabilidad baja, este problema - como se verá más adelante- se traslada tan sólo a un nuevo agrupamiento sin restarle importancia a los sistemas tecnológicos ni a las revoluciones tecnológicas.

La idea base es considerar dos tipos de innovaciones, las incrementales y las radicales, y hacer que las innovaciones que provocan los sistemas tecnológicos o las revoluciones sean de tipo incremental. Las innovaciones, tanto incrementales como radicales, tienen efectos en la economía y lo que en realidad se interpreta es el impacto que tienen en la estructura productiva; una innovación incremental tiene un impacto menor, mientras que una radical, uno mayor. Pero aparte existe un espectro de posiciones donde las innovaciones radicales solamente pueden influir de manera radical sobre una industria, y las incrementales influyen de manera uniforme sobre varias industrias, e incluso sobre diversas ramas industriales. De lo anterior se puede deducir que la definición de las innovaciones como incrementales o radicales no difiere de los conceptos expuestos por Freeman y Corona. Las incrementales implican la idea de continuidad donde tal vez predominan factores como economías de escala, decisiones no-precio, o factores culturales. Mientras que las radicales involucran rupturas, discontinuidad y está asociada fuertemente a cambios en los paradigmas científicos y tecnológicos, económicos y sociales, es decir, a una mayor acumulación de conocimiento, de cuerpos de teorías utilizables y practicables y un conjunto de experimentos comprobados.

El diagrama D-A3-3 podría descifrar el ordenamiento que se sigue. Solamente se conciben las innovaciones incrementales y las radicales, y hacia donde avanzan las diferencias cuando es mayor su impacto en la economía. De esta manera, al principio solamente podríamos hablar de continuidad y discontinuidad.

Se insiste en explicar las innovaciones por el lado de la oferta. Aunque esta explicación tenga una connotación economicista se podría argumentar que detrás de esta

⁷⁰ Para una explicación más rigurosa, ver Freeman (1984), y Corona (1988).

fuerza están las variables reconocidas con una relación técnica entre industrias necesaria para llevar a cabo la producción. Existe un espacio donde solamente dominan las fuerzas de este tipo. En este sentido se puede decir que todas las innovaciones tienen una contrapartida técnica ya que de otra forma no existiría la innovación. Esto implica que primero se considera la relación técnica, y, *a posteriori*, otras fuerzas, entre las cuales se encuentran las fuerzas del mercado. De lo anterior se deduce que de todas las innovaciones conocidas, algunas pasaron por la influencia del mercado, otras por aspectos culturales, por la fuerza de un innovador creativo, por decisiones no precio (reiterativas), y hasta por la perseverancia de un lujo (un capricho), pero todas tuvieron de partida una posibilidad técnica. Esto es lo que nos indica el cuadro: primero la influencia de la técnica, su consentimiento; y luego la de otras fuerzas que permiten u obstaculizan la fructificación⁷¹.

En la última columna (y en la parte b) se considera el efecto en la economía y se le puede entonces relacionar con los sistemas y revoluciones tecnológicas. En parte, de acuerdo con Archibugi, se evalúa el efecto considerando las innovaciones incrementales y radicales como una unidad.

Se requiere de una mayor explicación sobre las fuerzas que inciden sobre cada variable. La primera, la técnica, denota las fuerzas que se ejercen y dan origen a las innovaciones. Estas pueden depender de cambios en los conocimientos científicos y tecnológicos. La diferencia es importante. En primer lugar, la relación entre el paradigma científico y el tecnológico es continua, retroalimentada. Pero un cambio en uno tiene consecuencias distintas que un cambio en el otro. En segundo lugar, existe una masa de conocimiento acumulable que puede generar innovaciones y, por lo tanto, depender del paradigma tecnológico independiente o dependiente del científico. Solamente se depende de este último cuando se incrementa el conocimiento tecnológico con base en cambios científicos. Por el lado tecnológico, según Rogers (1984), el cúmulo de conocimientos formado por prueba y error, asociado con invenciones e investigaciones, y con un conocimiento acumulado con base en la experimentación y la comprobación apoyado por las ciencias de la ingeniería basta para crear innovaciones que dependan totalmente de los paradigmas tecnológicos⁷². Además, este cúmulo de conocimiento ordenado es creciente y

⁷¹ Desde luego que existe otro tipo de innovaciones que no requieren desde su inicio de una consideración técnica, como en el caso de que el puro desarrollo organizativo genere innovaciones. Entonces podríamos hablar de paradigmas científicos y tecnológicos donde no escaparía la administración.

⁷² El análisis de Rogers está alejado de la discusión en el marco económico. Sin embargo la experiencia y el conocimiento sobre la tecnología y las ingenierías ayudan en mucho a entender los procesos para innovar desde a perspectiva científica y la tecnológica.

su crecimiento depende mucho más de la ciencia que lo que la ciencia dependió de la tecnología años atrás. Es fácil observar que las innovaciones que se generan por un paradigma tecnológico estable (sin la influencia de los nuevos conocimientos de la ciencia-base) son incrementales pero hasta ahora no podemos descartar que puedan ser radicales. Asimismo, las innovaciones causadas por cambios en los paradigmas científicos y su retroalimentación en la masa de conocimiento tecnológico pueden generar una innovación radical, aunque también se pudiera hablar de una incremental. El diagrama D-A3-4 (a,b,c) interpreta esta situación.

Las fuerzas económicas afectan la innovación. Por una parte se ha considerado a las fuerzas de la demanda como el motor para sacar adelante la innovación. Las economías de escala y la persistencia de la reducción de costos es una fuerza latente, aunque varía según las condiciones del mercado. Existen otras fuerzas que no han sido retomadas. En los análisis inter-industriales se estudia el comportamiento de las variables exógenas y endógenas al proceso productivo. La forma en que una variación en la demanda final afecta la estructura productiva es el marco analítico para estudiar la irradiación de las innovaciones desde un enfoque economicista, y la facilidad con la que el proceso productivo afecta a las innovaciones. En el fondo, se están discutiendo las relaciones técnicas de producción, como forma independiente del marco del análisis del mercado para producir bienes. También dentro de este mismo argumento se habla de la selección de técnica y cómo, afectando variables, se logran técnicas intensivas en capital o mano de obra. Un análisis más sofisticado del que generaron los análisis clásicos de selección técnica (Lewis, Galenson, Leibenstein, Chenery, Sen, Steward)⁷³ se encuentra en los trabajos de Little y Mirrlees: la forma en que un análisis de selección de técnica involucra un análisis de distribución, de crecimiento, empleo, regionalización, etc., en países en proceso de industrialización. En el fondo lo que se evalúa indirectamente es el efecto de políticas fiscales, de precios y tarifas, de subsidios, etc., de índole proteccionista. Es decir, cómo la política económica afecta el camino de las innovaciones, su trayectoria, cómo una política de subsidios promueve unas y obstaculiza otras, cómo una política fiscal impacta sobre los costos y acrecienta las economías de escala. La política económica delinea o afecta la estructura productiva no solamente a través de los costos sino afectando el empleo, la distribución, etc. Tal vez, desde la ciencia económica ortodoxa, este enfoque no haya sido del privilegio de los que

⁷³ Estos trabajos desde luego tiene que ver con una visión de bienestar donde en principio el trabajo de Arrow (1962) es pionero.

estudian los cambios tecnológicos en contraposición con un enfoque de demanda. Apenas hoy se estudian, como objetivo, los efectos de la política económica sobre las innovaciones.

Otra variable importante es la cultural. Para algunos países la alimentación y la dieta diferencian la industria de alimentos de país a país y afectan de manera diferente a las innovaciones. Es decir, en algunos casos las promueve más que en otros. Por lo regular, los efectos culturales tienen que ver con los sectores más tradicionales, como la industria alimenticia, del vestido, o del cuero.

En muchos países se acentúa la simbiosis de la heterogeneidad tecnológica. Conviven juntas de bueyes con tractores. Desde el punto de vista del ciclo del producto no desaparece, a pesar de que el primero esté en su punto de maduración y obsolescencia. Esto significa, como lo menciona Goonatilake (1988), que las tecnologías implican también necesidades básicas, ya sean condiciones físicas crudas o factores culturales.

Otras fuerzas de expulsión son reiterativas. Quizás en un sentido economicista corresponda mejor el concepto de decisiones no-precio, es decir, fuerzas gerenciales, administrativas, en donde existe un común que puede ser sujeto de explotación. Aquí caben las innovaciones agrupadas por Albernathy y Utteback en los nichos explotables y a lo que llaman conjeturas o trucos.

Otra fuerza dentro de este grupo que se comporta como sacador de innovaciones es el empresario innovador, persistente y tomador de riesgos. Quizás se puedan agregar más características que impliquen hasta el conocimiento técnico de la innovación, es decir, un profesional que no solamente domina el arte de hacer negocios, sino también la técnica. Existe evidencia de esto, sobre todo en la formación de los parques tecnológicos y científicos.

Existen fuerzas que tienen su origen en el usufructo de la renta, de la ganancia y son tradicionales dentro de cierta élite. Lo que podría de alguna forma ser una innovación arquitectónica, se acopla con la fuerza de los caprichos de las élites. Los autos de lujo, las carreras de automóviles, los deportes acuáticos, los aeroplanos son todos fuente de innovaciones que de alguna forma han tenido un reconocimiento por el hecho de haber afectado industrias y promovido innovaciones.

Por último, aquí se describe sectorialmente el impacto en la economía. Townsend (1981) describe este impacto por sector innovador como aparece en el diagrama D-A3-5. Sin embargo, la idea de continuidad e interrupción no se capta totalmente. Por una parte, para que exista continuidad se debe hablar de las innovaciones como sujeto y no de

sectores. Por otro lado, éstas deben ocurrir continuamente, a cada momento, en todos los sectores. Por el lado de la radicalidad, el hecho que la innovación sirva para varias tecnologías puede afectar a todo un sector o a la economía.

III Índices tecno-económicos

Dos han sido las fuentes originales para la medición de la actividad innovadora. La I y D y las patentes. Estos han sido la fuente tradicional donde a las primeras se les considera como *inputs* y a las segundas como *outputs*. Las primeras incluyen los gastos en IyD, el personal empleado en estas actividades a diferentes niveles de calificación. En los segundos se incluyen también las publicaciones técnicas, las estadísticas de patentes y los nuevos productos. Las limitaciones de ambas se han hecho muy notorias al enfrentar los resultados en las investigaciones principalmente para comprobar las tesis de Schumpeter acerca de los mercados y las empresas.

I y D presenta problemas en cuanto en que solamente es un insumo y no necesariamente se traduce en una innovación productiva para explotarse y de hecho el concepto de apropiabilidad responde mas a las limitaciones de esta medición. Al mismo tiempo existen otros problemas ya que no necesariamente para innovar se requiere invertir en I y D y a que los gastos en esta actividad no se distingue nítidamente de los gastos en inversiones y de ingeniería. Por esta razón y por los resultados encontrados esta medida tiende a tener un descrédito ya que a pesar de ayudar a ver otros problemas en la practica en poco mide la actividad innovadora⁷⁴.

Las patentes por su lado también tiene limitaciones ya que las diferencias entre las industrias con respecto a la explotación de las patentes es muy diferente ya que el costo, el tiempo, la ventaja comparativa de la firma que explota la patente difiere y solamente en pocos sectores se puede considerar como un producto de la actividad innovadora⁷⁵. Esto hace que en muchos casos las patentes no puedan conservar el valor de la innovaciones en muchos no se diferencie entre invención e innovación.

⁷⁴ La literatura que discute este aspecto no es reducida. ver Pavit (1995), Audretsch (1995), Rotwell (1985), Griliches (1995), Esposito (1993), Archibugi (1988), Sahal (1985), Gordon y Munson (1981).

⁷⁵ Esto en parte se debe a las diferentes concepciones de la patentes derivadas de diferentes análisis. Estas concepciones pueden depender de aspectos legales y funcionales del sistema de patente, de una lógica del sistema de patente, y de la literatura que usa estadísticas de patentes e indicadores tecnológicos. Ver a Basberg (1987).

Un aspecto que tiende a mermar todavía más la consistencia de los análisis con base en estos dos indicadores I y d y patentes es que los cambios tecnológicos plasmados en los productos y servicios no provienen de un sector sino de un sistema en el cual los componentes tecnológicos resultan de áreas totalmente diferentes ya sean intrasectorialmente como intersectorialmente. Esto desde luego afecta la efectividad de una medición ya que tanto los aprovechamientos de los *inputs* como el de los *outputs* proviene de una relación intrasectorial y en muy pocos casos intersectorial⁷⁶.

Otras formas de medir la actividad innovadora se basan en la captura de características y eventos técnicos y económicos. Estas formas de medir han tenido varios aprovechamientos siendo entre los más importantes los hedónicos⁷⁷ basados en los enfoques de utilidad y su relación con las características del producto en el mercado. Otros estudios encabezados por Dodson (1979,1985) y Alexander y Nelson han enfatizado en el "estado del arte" como una superficie convexa en un espacio de n dimensiones donde n son las características tecnológicas y en donde la curva toma la forma de una elipse. A pesar de que ambos han sido criticados⁷⁸, un aprovechamiento que retoma en cierta forma el de Dodson es el *compuesto* de Sahal y con otra visión por Martino (1985) al estudiar que la actividad innovadora es delineada por los *trade off* entre varias características tecnológicas. Algunas diferencias se presentan gráficamente en el diagrama D-A3-6 (a,b,c,d). Estudios como los de Saviotti y Metcalfe (1985) han abundado en la relación entre métodos, características técnicas del producto y servicios del producto para así lograr indicadores de productos tecnológicos relacionados con regímenes tecnológicos y guías tecnológicas.

En general este tipo de aprovechamientos a pesar de que pueden tener debilidades se muestran superiores a los primeros. Para algunos estos apenas se inician y para otros son lo suficientemente consistentes como para medir los cambios tecnológicos. Recientemente se han hecho dos contribuciones que van por una parte incorporando no solo cambios tecnológicos del sistema mismo que se produce los cambios, y por otro incorpora variables económicas y sociales que sintetizan de manera más sencilla la procedencia del cambio tecnológico ya sea intrasectorial como intersectorial. En este sentido las mediciones bajo estos modelos funcionales y estructurales son los que mejor resultado están teniendo⁷⁹.

⁷⁶ Ver a Esposito (1993) para una evaluación de la efectividad de estas mediciones.

⁷⁷ Un pionero es Court, 1939 y estudios posteriores fueron hechos por Stone, Griliches.

⁷⁸ Ver por ejemplo Alexander *et al* (1985) para el primero y a Sahal (1985) para el segundo.

⁷⁹ Un único problema es que requiere de conocer aspectos técnicos en la relación funcional que se trate lo que hace limitado su uso. Sin embargo en grupos interdisciplinarios de investigación esto no es limitación sino ventaja.

Se puede mencionar a otros aprovechamientos que miden a los cambios tecnológicos a nivel sectorial⁸⁰ y los que retoman aprovechamientos jerárquicos y que de alguna forma pueden ser continuación de los que miden el estado del arte con base a una trayectoria⁸¹.

Otras medidas de la actividad innovadora hasta cierto punto está referida a documentos indirectos con el tema. Se puede mencionar la balance de pagos tecnológica referida principalmente al balance de patentes, la exportación de productos con alto contenido tecnológico, medición directa de innovaciones a través de encuestas y estudios y documentos especializados como revistas técnicas⁸².

IV Conclusiones

Sería injusto decir que el tema de cambios tecnológicos no ha tenido un tratamiento en la teoría económica. Este desde luego no es nuevo pero quizá la abrumadora importancia de otros aspectos en la teoría económica no dieron espacio para un análisis de mayor duración. Desde otra perspectiva la misma discontinuidad de los cambios tecnológicos fomentó que las mismas incursiones no fueran tan perseverantes. Ahora con los cambios tan drásticos por la introducción de nuevos materiales, la informática, electrónica y la química y por otro lado, la mejor comprensión de problemas anejos en la teoría económica, el lugar que se le da a los cambios tecnológicos ahora en una perspectiva histórica puede parecer fuera de contexto. Sin embargo no lo es y no solo se discute ampliamente sino que al mismo tiempo el tema mismo de cambios tecnológicos se vuelve más complejo porque la propia dinámica de las economías, las industrias, las firmas son más complejas. En este ámbito es como cualquier investigación que trate el tema de cambios tecnológicos debe ubicarse: en un proceso de cambios profundos y de formación de nuevas entidades. Esta es quizá la herencia más justa de Schumpeter quien supo entender la importancia del papel del empresario, de la concentración de los mercados y del tamaño de las firmas. Esta es aún de cuentas la línea de investigación que nos dejó y la cual se discute y se avanza. Hoy no solo analizamos otras instituciones sino las relaciones entre empresas, la

⁸⁰ R. Ayres (1985) desarrolla este tipo de conceptos e indicadores.

⁸¹ Una revisión de esta literatura es hecha por Dodson (1970,1985) y Saha (1985).

⁸² Véase para este a Pavit (1995).

organización al interior de estas, los agentes, el papel de los centros de investigación, universidades, y políticas de gobierno y programas para fomentar la ciencia y la tecnología.

Después cuando apareció el trabajo de Schmookler se inició una vertiente de investigación contemporánea del análisis de los cambios tecnológicos. En el transcurso de más de dos décadas la cantidad de estudios se ha incrementado enormemente y sería muy difícil seleccionar a un autor por una colaboración académica intensa y brillante. Mas bien hay no uno, sino varios los que han trabajado y contribuido a esclarecer el papel de los cambios tecnológicos en el proceso productivo, las industrias y las firmas. Al mismo tiempo dentro de la misma teoría económica ha habido avances de envergadura que han en muchos aspectos determinado los programas de investigación científica y social y han servido de apoyo para re-analizar la cuestión tecnológica. Muchos trabajos importantes desde luego tienen puntos de discrepancia e inclusive están referidos a grupos y equipos de investigadores abocados a sus estudios bajo diferentes inquietudes y métodos de análisis. Sería injusto hacer una descripción de los mas importantes, esto va mas con la visión del lector y todo caso puede ser reiterativo, después de los que se ha revisado en las secciones anteriores. En cambio se prefiere concluir con algunos temas relacionados con los siguientes capítulos.

Un aspecto central ha sido la naturaleza de los cambios tecnológicos y otro el papel que se le ha dado a los factores económicos como determinantes para su generación y explotación. Se ha visto las limitaciones del mercado y con esto el papel de las organizaciones jerárquicas. Se ha tratado de analizar las fuerzas latentes que yacen sin la influencia de la demanda para fomentar las innovaciones asociada desde el principio con la industria y la firma tecnológica. Se ha puesto énfasis en un enfoque evolucionista, se ha insistido en la relevancia que tiene en si la apropiabilidad de las innovaciones y las repercusiones no solo para la durabilidad de las innovaciones sino para las firmas que toman decisiones a futuro y con información incompleta e invierten en investigación y desarrollo. Estos son quizá uno de los temas mas actuales que desde luego son controvertidos porque no hay en si una homogeneidad en el enfoque de la corriente principal pero al fin de cuentas mejor aceptado que la muy homogénea ortodoxia económica. Así, mas que limitarse a ver a las innovaciones como bienes públicos donde la innovación tenga que aprovecharse por muchos, mas que condenar el sentido de corto plazo de la innovación por los *spill over* que se generan, mas que dirigir una estrategia para combatir la apropiabilidad, en aras de una economía de crecimiento y equidad debè

evaluarse las tecnologías que tengan un peso profundo en las industrias en conjunto y apoyar aquellas que realmente se presentan como cruciales para la estabilidad de las industrias sin mermar en la producción de otras innovaciones. Esto puede parecer antinatural, pero muchas de las decisiones sino es que gran parte de ellas son riesgosas: es decir no son normadas por el mercado. Este es un planteamiento y una propuesta a la vez. Se requiere evaluar el impacto de las innovaciones en la estructura productiva y discriminar con base en objetivos sociales, de crecimiento y de largo plazo. Es decir antinaturalmente. El papel del mercado y su influencia en las innovaciones no solo es pasajero y de corto plazo sino que puede hacer perder cambios positivos en las tecnologías afines, a reducir disparidades en el ingreso y en el crecimiento. Por eso antes que recomendar una política de fomento y sostén de cierta tecnología o de cierto línea de investigación y desarrollo se requiere conocer los impactos en la estructura productiva. Los impactos en la estructura productiva solo pueden analizarse conjuntamente analizando las industrias y las firmas. De ahí la importancia del enfoque y la discusión económica con respecto a la existencia de ambas. Se requiere de un planteamiento de largo plazo y este solo puede analizarse a nivel industrial. Si embargo la información pormenorizada de las transformaciones en el corto plazo solo se da analizando a las firmas. Hay muchas firmas, que aparentemente han desaparecido de la industria, como aquellas, que de la industria metal mecánica pasaron a la industria de la electrónica. El caso típico son los instrumentos de medición que se ha transformado porque las tecnologías de medición han pasado de procesos mecánicos a electrónicos. Sin embargo los procesos para llevar a cabo el objetivo de medición no necesariamente cambia, o bien cambian los equipos y los materiales; en el fondo se tiene una combinación de sustitución de ellos, es decir de cambios en los procesos, equipos y materiales. De esta forma se tiene que desde una apreciación industrial mínimamente se sabe a donde se transforma toda la industria de medición, mientras que desde la perspectiva de la firma solo queda el nombre y a veces dada las fusiones con otras empresa esta también desaparece. Sin embargo a nivel de la economía o sector productivo, aparentemente los niveles de empleo y producción se mantienen, pero al interior realmente se dan cambios profundos. Esto hace ver que nuestra posición es inmediata : es prioritario conocer los impactos de las innovaciones en la estructura productiva bajo un escenario donde predomine la influencia de fuerzas autónomas (o al menos contrarias al mercado) y de largo plazo.

Se ha revisado los resultados de estudios empíricos que hacen distintas relaciones con diferentes aprovechamientos y métodos de análisis en ternas diferentes y a la vez característicos de las innovaciones. La cantidad de temas es grande. Sin embargo a pesar de que se ha superado la dicotomía entre las fuerzas de demanda y oferta se enfrenta ahora a otros problemas bajo un aprovechamiento evolucionista. Estos en parte son mas aterrizados, pero no por eso dejan de ser mas complejos de resolver ya que en mucho se ha enfocado (y ha servido) para contra argumentar a la posición ortodoxa y en cambio los problemas que quedan por resolver solamente se plantean y los avances apenas se dan. Inclusive muchas de las respuestas ortodoxas no van en el sentido de rechazar las críticas sino de ver lo todavía inmaduro del modelo. En términos de paradigmas lo ubicarían como un preparadigma. En este nuevo enfoque se permite mas fácil la entrada de otras ciencias las cuales son segmentadas por el enfoque tradicional. Dentro de la perspectiva evolucionista no solo ya aparecen las críticas a los sesgos biológicos, y a los coqueteos tecno-económicos. Se ha observado que los cambios y las revoluciones científicas traen grandes transformaciones de las cuales los elementos sociales y antropológicos tiene mucho que ofrecer no solo para explicar y matizar la evolución sino también las transformaciones de las relaciones de trabajo.

Sería muy parco terminar con una agrupación de innovaciones que socorriera la influencia bi-ciencia. Los economistas de la guardia institucional vieja siempre acudieron a la idea de que tarde o temprano a la economía no le quedaría otra cosa que evolucionar con la biología. Marshall es uno de ellos. Los nuevos institucionalistas y en especial Alchman da otra vez vigor a la selección natural. La biología desde la perspectiva evolucionista tiene mucho que ofrecer. Pero entonces ahora si hay como una especie de competencia para evaluar cual binomio tiene mayor influencia. La tecnología en sus propios términos no solo ha ganado de la ciencia, sino de la economía e inclusive de mucho de la antropología. Así es que una visión evolucionista desde la perspectiva biológica para muchos no es mas que una continuación de la ortodoxia. Para otros la amplitud es mayor y sería una grave simplificación que se considere de esa manera. Por esta razón más que predecir parejas, nos abocamos a la idea de que la evolución de como se den los cambios tecnológicos esta influenciada por variables distintivas de diferentes ciencias y que desde luego hay predominios por algunas de ellas pero estas dependen del sector industrial, de lugar, de las tradiciones y el tiempo.

Las explicaciones evolucionistas están en un estado de formación. Lo que se ha discutido y analizado ha sido las limitaciones de considerar aisladamente las fuerzas de mercado y las autónomas. No se llega muy lejos a pesar de que cada una es respaldada por un pesado bagaje económico neoclásico y científico respectivamente. El enfoque evolucionista y con esto la idea de trayectorias necesariamente esta basado no solo en la evolución de micro-conceptos económicos sino técnicos y científicos. La explotación de las economías de escala, de alcance, la explotación de tamaño, la vinculación ciencia tecnología no son otra cosa que las bases donde las firmas florecen y pueden analizarse a través de las industrias. Estas ultimas conservan al menos por mayor tiempo las características peculiares de las firmas. Estas características desde luego son técnicas y económicas y además reciben la influencia de otros factores que se dan aisladamente y en conjunto. La política económica, las instituciones, las motivaciones sociales, la cultura, los recursos naturales, los problemas ecológicos influyen en la combinación de los paradigmas económicos y técnicos. Aunado a esto están las motivaciones personales, el *self-fulfilling* y los procesos que toman parte en los individuos para dar cabida a la actividad creadora. No cabe duda que el estudio de los cambios tecnológico es complejo y a esto se suma a penas la construcción de nuevos conocimientos, nuevas herramientas y categorías de análisis. La interpretación de las trayectorias tecnológicas como una propuesta coherente por parte del enfoque evolucionista requiere de mayores desarrollos que tiene que ver con la definición de una trayectoria tecnológica, su transformación, las bifurcaciones, los factores que predominan, la interpretación en las industrias, en las firmas. Este es en el fondo un tema que debe analizarse mas y es en este sentido es el objetivo de los capítulos que prosiguen con esta investigación.: no solo analizar la estructura productiva en si sino la relación de la trayectorias tecnológías basadas en variables representativas no solo de mercado, o tecnológicas sino bajo la influencia de otros factores sociales, culturales, medio ambiente. Desde luego que el reto es grande y por esta razón se escoge un sector relativamente maduro donde se puedan medir las innovaciones y relacionarlas con una estructura productiva aislada de las fuerzas de mercado por un momento.

Un particular problema es el poco peso que ha tenido los estudios que analizan los procesos de utilización y difusión de las tecnologías y su impacto en la estructura productiva. El análisis de la estructura productiva puede hacerse desde varias perspectivas pero se ha insistido en un análisis basado en la naturaleza de los cambios tecnológicos ya que lleva consigo los principales ingredientes que generan los cambios tecnológicos. No se

puede separar el análisis del crecimiento sin analizar el de los cambios tecnológicos, y sería en vano no hacer caso al papel de los cambios tecnológicos para entender como se dan las transformaciones de la estructura productiva. Este es en el fondo la cuestión que ha permitido dar continuidad a este trabajo.

Si bien la discusión que se da entre firma e industria concentra muchos temas que van desde el individuo maximizador, el empresario, los mercados, los costos de transacción, las instituciones, la cuestión tecnológica en cada uno de estos aspectos tiene un papel como sujeto y objeto que depende del enfoque y aprovechamiento económico. Pero en la medida que de la tecnología se interprete un componente autónomo evolucionista desde luego contribuirá a entender la cuestión de la existencia de las empresas. Esto es así, porque no solo el entendimiento de la tecnología se ha favorecido del entendimiento de las firmas y los mercados y los costos de transacción, sino que a su vez, en la medida de asociar mas la tecnología con una relación interindustria, es decir en la medida de aceptar elementos autónomos, los argumentos evolucionistas serán mas contundentes para explicar la convivencia entre las firmas y los cambios tecnológicos. Pero también mientras los elementos autónomos de cambios tecnológicos tengan mayor incidencia en algunos periodos y menor en otros, es decir existan ciclos de ruptura y estabilización, no habrá una explicación unidireccional contundente y el contrabalance sobre las fuerzas de los mercados será menor.

La cuestión de la apropiabilidad de las innovaciones desde luego tiene relevancia al analizar el carácter de los mercados ya que la rivalidad de la innovación puede ser excluida o no en aras de una competencia destructiva o en aras de un crecimiento. Sin embargo cuando la apropiación no esta reglamentada y al mismo tiempo aumenta la necesidad de advertir nuevas innovaciones, la mejor política no será un abatimiento de la reglamentación sino que el fomento para incrementar el rango de innovaciones dependerá menor del mercado y mayor de estrategias deliberadas a fomentar y privilegiar una selección de monopolios hasta subsidiar industrias por periodos de tiempo.

El aprovechamiento neoclásico para los cambios tecnológicos todavía es vigente porque representa un modelo primario de entidades y agentes económicos con una larga tradición analítica y con un poderoso instrumental para hacer de cualquier tema el sujeto de estudio. Además, facilita la resolución de los problemas porque reduce la realidad y encuentra soluciones generales mas fáciles de aplicar. Sin embargo, también,

se utiliza porque se prefiere que la consistencia analítica se evalúe por encima de cualquier aspecto que lo pueda estropear. Los comentarios y críticas han abundado tanto en un enfoque general como al considerar la cuestión de los cambios tecnológicos. Nelson (1977) lo analiza primero en términos generales y luego junto con Winter se enfocan en la cuestión tecnológica dando pie a un enfoque evolucionista. No es fácil encontrar hoy en día mas estudios que tengan como objetivo el análisis de la crítica a los fundamentos de la escuela neoclásica de función de producción. Mas bien lo que se encuentra son contra-argumentaciones a fases de la teoría y a como evoluciona frente a nuevos problemas y nuevos escenarios. A pesar de esto algunos autores como Dosi han retomado esta cuestión la cual tiene un imponderable valor ya que para muchos economistas volver a discutir las premisas originales es simplemente una perdida de tiempo. Quizá la mayor crítica a los defensores del aprovechamiento neoclásico en relación a los cambios tecnológicos es su parca respuesta para contrargumentar en pos de explicaciones mas consistentes y reales sobre la sustitución de los factores y los procesos que se dan en la aparición y difusión de innovaciones que no sea otro refugio que un equilibrio en o sin el mercado. Para los neoclásicos, equilibrio y mercado aparecen como intocables. Esta puede ser otra crítica. La cuestión estriba en que en aras de mantener este análisis se omiten variables que no solo hace irrelevante al equilibrio sino desproporciona al mercado.

Dado que existen muchos elementos que promueven nuevas tecnologías y dado que puede haber una asociación entre tipo de tecnologías y fuerzas que inciden en ellas es necesario no solo incorporar en los análisis esta diversidad. La cuestión técnica es una cuestión primaria que debe de estar en la base ya que va primera que la de mercado. Por esta razón es conveniente no solo fomentar modelos que representen diferentes fuerzas de expulsión sino que privilegie el campo natural de las nuevas tecnologías. Esto último hablaría de la necesidad de hacer un mayor rompimiento en el análisis y analizar casi en forma longitudinal como aparece las tecnologías. Es decir es necesario entrar mas de lleno a la dependencia técnica mediante un análisis pormenorizado. De la misma manera como en otras ciencias se tiene que abrir un órgano longitudinal y transversal, de la misma manera se tiene que hacer lo mismo con la cuestión de la dependencia técnica. Un producto se transforma y se vuelve mas completo y lo medimos mediante mas valor añadido. Sin embargo mientras que hablemos de valor añadido no sabemos que paso adentro del producto o la materia

prima o los insumos. Por esta razón tenemos que hacer un corte longitudinal y transversal y analizar los procesos que toman parte en la producción de un bien, los equipos que son necesarios para su producción y los materiales con que se inicia la transformación. Es decir es tiempo de hacer un rompimiento de esta naturaleza y entonces ver que esta pasando adentro y ver en que forma las variables económicas las tecnológicas, la ciencia, las culturales, las sociales influyen sobre la transformación de los productos. No podemos supeditarnos a aceptar a la correlación entre mismos ritmos de modificaciones en el valor añadido y mismos ritmos en la eficiencia técnica. Esto no necesariamente se da.

En general un problema que se ha observado es el poco peso que han los estudios que analizan los procesos de utilización y difusión de las tecnologías y su impacto en la estructura productiva. El análisis de la estructura productiva puede hacerse desde varias perspectivas pero se ha insistido en un análisis basado en la naturaleza de los cambios tecnológicos ya que lleva consigo los principales ingredientes que generan estos mismos cambios. No se puede separar el análisis de crecimiento sin analizar el de los cambios tecnológicos, y sería en vano no hacer caso al papel de los cambios tecnológicos para entender como se dan las transformaciones de la estructura productiva. Este es en el fondo la cuestión que ha permitido dar continuidad a este trabajo.

Sección II

Análisis de la influencia de los cambios tecnológicos y las relaciones técnicas de producción en la estructura productiva: *un modelo de árbol industrial y una aplicación al sector hidroenergético.*

En los capítulos anteriores se discutió la necesidad de analizar tanto el crecimiento y la productividad como los ciclos bajo un enfoque industrial ya que el reflejo de los cambios en la productividad, las tasas de crecimiento de la producción, los procesos de retardo de capital bajo la forma de ciclos se reflejan en los cambios de la estructura productiva. La estructura productiva vista como la composición sectorial e industrial de la economía es un tema que se ha analizado parcialmente y su estudio permitiría tener una mayor relación con una visión agregada del crecimiento. Los impactos del crecimiento se ven reflejados en las industrias pero al mismo tiempo estos equivalen a las transformaciones de éstas y a su vez tienen implicaciones en las relaciones sociales de producción ya que se dan movimientos de mano de obra dadas las nuevas estructuras industriales. Por esto el énfasis que se hace al estudiar las transformaciones productivas no tiene mejor sentido que conocer los nuevos estadios de bienestar que acarrearán. En este sentido, se podría interpretar como una evaluación de los efectos de una política macro y al mismo tiempo se está sentando las bases para indagar más sobre la conexión entre los paradigmas macro y las industrias.

Esta relación de paradigmas no sólo tiene que ver con la tecnología sino que es esta misma la que explica la lógica de las transformaciones de las estructuras industriales. Por esta razón es que el capítulo 3 se abocó a analizar las causas de los cambios tecnológicos como protagonistas no sólo del crecimiento sino también de los cambios en la estructura productiva. Sin embargo, el solo hecho de incorporar a la discusión los cambios tecnológicos incluye otras discusiones que van directamente al seno de los cambios tecnológicos y de los

procesos económicos y sus explicaciones. Los cambios tecnológicos, y su estudio, sin lugar a dudas, han servido para avanzar en la construcción de bases más sólidas de la teoría económica. Pero la incorporación de los cambios tecnológicos al análisis de la estructura productiva y a sus transformaciones no es automática ya que hay muchos factores que intervienen y estos no pertenecen del todo a factores económicos sino también a la ciencia, a la tecnología, a lo social, a lo biológico. Sin embargo, un primer intento trata de que en la base de las transformaciones exista una lógica técnica sin la cual simplemente no puede existir la producción.

La dependencia técnica ha sido discutida ampliamente por diferentes análisis. En unos casos para compararlo frente a las fuerzas de mercado, en otros para analizar el grado de monopolio y competencia, en otros para analizar los procesos de sustitución de los factores y haciendo énfasis en procesos evolucionistas. Como se ha mencionado en el capítulo anterior muchos aspectos del conocimiento de la génesis de los cambio tecnológicos han resultado del análisis y de la crítica a los planteamientos neoclásicos. El concepto de trayectorias y paradigmas son enfoques diferentes que superan lo limitado de los enfoques tradicionales y al mismo tiempo abren un espacio para la investigación. La lógica técnica no escapa de esto ya que representa una acercamiento base para concebir la estructura productiva. De esta manera el indagar mas a fondo sobre la lógica técnica repercute en dos cuestionamientos: uno lo referido a la estructura productiva y otro a crear las condiciones para analizar hasta donde los cambios tecnológicos dependen de elementos diferentes al mercado y mas a una base tecnológica, científica, social y cultural. Esto implica desde luego un alejamiento con la escuela neoclásica y un esfuerzo para contribuir al fortalecimiento de un aprovechamiento evolucionista en tanto que se espera aproximarse mas a trayectorias y paradigmas para concebir una estructura productiva que cambia y se modifica con patrones evolucionistas y en donde variables distintivas determinan la dirección tecnológica y a la vez indirectamente matizan la estructuras productivas dominantes.

Esta lógica técnica es lo que se trata de modelar en el capítulo 4 mediante la incorporación de un árbol industrial que refleje en principio exclusivamente variables técnicas para llevar a cabo la producción. Luego las transformaciones de estos arreglos que se representan mediante un árbol industrial compuesto por procesos, equipos y materiales (P,E,M) son la base de las argumentaciones para modificar la estructura industrial debida a la influencia de los cambios tecnológicos en los P,E,M y llegando a otro árbol industrial modificado. Este paso solamente puede ser explicado por lo lógica de los cambios

tecnológicos los cuales a su vez son afectados por factores económicos, técnicos y culturales. El análisis de árbol industrial es diferente al análisis de las relaciones técnicas entre empresas. A nivel sectorial sería una análisis de eslabonamientos productivos los cuales se han analizado mediante valores y no tanto técnicamente. Esta es una gran diferencia que se tratara precisamente en este capitulo.

El capítulo 5 intenta hacer una aplicación del modelo de los P,E,M con base en la industria hidroeléctrica y en específico en la producción de turbinas. La aplicación no sólo arroja resultados en cuanto a la industria desde el punto de vista de sus transformaciones sino que da pautas para entender las transformaciones de la industria metal mecánica. Además da elementos para estudiar los cambios tecnológicos bajo las apreciaciones de las trayectorias tecnológicas y potenciales. Pero esto último es parte del capítulo 6 que tiene como objetivo comparar los resultados del capítulo 5 con el resto de los capítulos.

Análisis de la estructura productiva bajo un modelo de árbol industrial

1. Introducción

Este capítulo es la propuesta que resulta de considerar más enfáticamente el análisis tecnológico de la producción y los encadenamientos productivos dada una precaria conceptualización de las industrias basadas en criterios tecnológicos. ¿Cuál es la capacidad de transformación de las estructuras industriales existentes?. En parte, el análisis que se hace en este capítulo se debe a una limitación impuesta por el análisis convencional desde sus inicios y a que los nuevos institucionalistas han puesto en consideración otro tipo de problemas sin abocarse a considerar la capacidad de transformación de las industrias en sus propios términos.

Este problema no está ausente de los nuevos enfoque evolucionistas aunque se le concibe de manera diferente. Como se ha comentado ya en los capítulo anteriores, la interrelación industrial y las capacidades de transformación se ven como un proceso de utilización y/o su difusión de innovaciones, es decir, el impacto de los cambios tecnológicos sobre las industrias: en qué industrias, cómo se dan, a qué tasa, etc. Este planteamiento no proviene de un solo grupo de investigadores sino de varios que muestran su preocupación por conocer estos procesos. Dada la ausencia de teorías en este sentido algunos modelos han empezado a estudiar este tipo de problemas basados en una nueva concepción de las industrias. Estos estudios se basan en la concepción de una industria mediante la génesis de la industria, los procesos industriales, los cambios estructurales que toman parte y las mutaciones para llegar a una concepción de la industria basada en tecnologías independientes, en el ensamble de funciones industriales, y en la estructura de capital¹.

En este sentido lo que hace el modelo que se formula mas adelante es desarrollar los ensambles de las industrias basados en acoplamientos y opciones

¹ Ver para esto a un grupo de investigadores como Foray D y N Massard (1987) interesados en concebir una teoría que explique las capacidades de transformación de las industrias.

tecnológicas. Para esto se requiere de un marco de referencia donde se pueda ubicar cualquier tipo de industria mediante la identificación de los procesos, equipos y materiales que corresponden a cada industria. En particular el modelo de árbol industrial trata de privilegiar el desarrollo de las innovaciones dentro del contexto de las relaciones técnicas de producción, específicamente, organizando la actividad económica mediante elementos básicos en la producción real. Por esto se considera que los elementos constitutivos de la producción están organizados para analizar la generación de innovaciones en este nivel. Se considera que los procesos, los equipos y los materiales son los protagonistas primarios de la parte real de la actividad productiva donde los mercados, los precios, la organización industrial, los arreglos y ordenamientos administrativos, los aspectos sociales y el medio ambiente tienen injerencia; en la mayoría de las industrias su incidencia, más que ir en primer o segundo lugar, es primordial en el sentido de que cualquier influencia de otra variable no técnica se considera posterior y como retroalimentación. Se pueden entender mejor los cambios en la economía y sobre todo el concepto de cambios estructurales cuando se le da prioridad a la estructura productiva que favorece el papel de las capacidades de las industrias para su transformación. Esto no implica el abandono de las categorías económicas, las cuales están en primer plano al incorporar las innovaciones y de analizar las transformaciones industriales. Las capacidades de transformación están bajo la influencia de variables económicas, tecnológicas, institucionales, y culturales.

Los estudios de interdependencia entre las industrias no son nuevos. Por un lado se le ha analizado bajo el concepto de cadenas productivas y en varios aspectos guardan cierta similitud con los árboles tecnológicos. El análisis de cadenas productivas no solo puede estudiarse a nivel sectorial sino a nivel empresa. En el primero especialmente en los países exsocialistas esta era una manera común de analizar la conexión entre las industrias ya que prácticamente el mecanismo de precios y mercados era muy primario. Los análisis de eslabonamientos anteriores y posteriores de A. Hirschman (1973) son una muestra del análisis de interdependencia en países en desarrollo. A lo mismo que otros análisis posteriores como el de Gerreffi el análisis de la interdependencia esta basada en valores donde el precio es fundamental para cuantificar el valor de la producción ya sea el que se requiere para crear una nueva industria en el aprovechamiento de Hirschman, y el análisis del valor agregado en

partes y componentes del equipo en el segundo². Las diferencias pueden ser enormes dado los distintos objetivos de los análisis ya que en los segundos se analiza la producción en un contexto de sistema mundial y analizando a una o un conglomerado de empresas pero no bajo un concepto sectorial, mientras que en el análisis de Hirschman es anterior a la cuestión de la globalización y pionero en los análisis de interrelaciones dado que discute las bases de la planeación para el desarrollo mediante un análisis interindustrial³.

Otros análisis que se han propuesto se basan en una organización industrial a nivel sectorial mediante un la información contenida en el modelo de insumo producto. Se han realizado ejercicios de este tipo de estudio en la economía brasileña y mexicana, donde se analiza el predominio de determinados complejos industriales como el automotriz y el sector tecnológico pero bajo una organización de mercado y precios⁴. Magar (1986) realiza un estudio característico de las cadenas productivas en México enfocada a un análisis de necesidades esenciales.

La diferencia que estriba entre un aprovechamiento de cadenas productivas y árbol industrial no se da en un análisis técnico entre las industrias. De hecho este interés es mutuo. La diferencia se basa en que el análisis de árbol industrial puede considerarse anterior al de cadenas productivas o eslabonamientos industriales en un sentido de ordenamiento en el procesamiento de las materias primas. Mientras que a las cadenas productivas se les puede analizar horizontalmente al árbol industrial puede ser además de horizontal vertical. De hecho se puede hacer una analogía basada en la descomposición de las partes para conocer que tipos de procesos y con que equipos se transforma la materia prima. Esto se puede aislar todavía del análisis factorial aunque

² Gereffi y Wyman (1989), Gereffi (1990,92,95) mediante en el análisis de las cadenas productivas llegan a analizar el nuevo orden en la división internacional del trabajo basados en partes y productos terminados y concentrándose en la identificación de márgenes y nichos de mercados en la industria del vestido y calzado llegan a la concepción de la fábrica mundial donde existe una repartición de la producción a nivel mundial. El tratamiento que se le da a la cuestión de la repartición de la producción mundial mediante el concepto de fábrica mundial no esta lejos de considerarse estática ya que el tratamiento que recibe la cuestión de *upgrading* tecnológico es muy precaria.

³ Estos análisis intersectoriales en los cincuenta y sesenta tuvieron un desarrollo importante ya que al mismo tiempo se desarrollo los modelos de insumo producto en un ambiente donde las ideas keynesianas tuvieron además de un auge una maduración. Ver por ejemplo los análisis de Chenery y Clark (1974) que relaciona los análisis sectoriales con el concepto de demanda autónoma. Para una revisión de la planeación en este periodo ver Griffin (1976) y los muchos trabajos de la CEPAL en este periodo.

⁴ Algunos trabajos sobre la economía brasileña son el de Haguenaer l y otros (1984), y sobre México los estudios de la UAM-A y los trabajos de Lipschitz y Zottele A(1985) sobre eslabonamientos productivos; estos trabajos se basan en la matriz de insumo producto y analizan las estructuras con base en el complejo industrial el cual se identifica a través de la fuerza de la relación intersectorial.. Después proliferó el análisis de las cadenas productivas, pero siempre basada en un producto terminal.

Desde otra perspectiva global se puede mencionar al concepto del sistema-mundo y a las cadenas mercantiles globales. ver Korzeniewicz (1995).

no se quiera decir que se omita. Simplemente sin trabajo y capital no se lleva a cabo la producción. En el fondo el análisis de árbol industrial hace un análisis longitudinal lo que lo hace muy diferente del aprovechamiento de cadenas productivas ya que lo que se obtiene es una tipificación y cuantificación de las operaciones que se dan en el proceso productivo. Otra diferencia importante es que mientras que en análisis de cadenas productivas se consideran valores en el análisis de árbol industrial los precios no son un requisito primario para la formación del árbol. Una tercera gran diferencia notable proviene de facilitar un análisis que evalúa más de cerca los cambios tecnológicos autónomos que no están influenciados por categorías del mercado. Esto último más que ver al árbol industrial como ajeno a los precios debe verse como un distanciamiento metodológico de las fuerzas del mercado para analizar con mayor acercamiento las fuerzas autónomas de los cambios tecnológicos.

Desde la perspectiva de las capacidades industriales se han hecho algunos ejercicios con la metalurgia, la fundición, la óptica y se han estudiado a las industrias tecnológicamente bajo el concepto de árboles tecnológicos. Este aprovechamiento se ha abocado a indagar los constituyentes que determinan las innovaciones dentro una tendencia evolutiva basada en los fundamentos de la tecnología ⁵.

La hipótesis que se maneja es que es posible tener un ordenamiento (y/o arreglo) industrial basado en la composición de los procesos, equipos y materiales (P,E,M) y que bajo este arreglo se pueden interpretar las bases de una estructura productiva. La estructura productiva así entendida se basa en un grupo de P,E,M el cual puede tener transformaciones basadas en las capacidades de las industrias para compartir los mismos P,E,M y que a su vez dependen de los cambios tecnológicos sufridos en los P,E,M.

Una de las razones por las cuales se desarrolla este modelo es conocer la relación que guarda la actividad económica con la tecnología, el grado de dependencia de un proceso, equipo o material y, al mismo tiempo identificar las industrias que representan las unidades económicas. También se analiza la participación del desarrollo tecnológico en la constitución de la estructura productiva y hasta dónde las diferentes fuerzas, desde el mercado hasta las fuerzas culturales, matizan lo que se conoce como estructura económica. En cierta forma esto permite conocer el grado en que la actividad económica es independiente de la tecnología; a qué nivel, en qué industrias, en qué

⁵ Ver los trabajos de Foray y Garrouste (1987), Biega (1987) donde se analizan casos específicos en la construcción de árboles industriales en la metalurgia, y la óptica

mercados y situaciones el proceso productivo en sí tiene más injerencia que las fuerzas autónomas; cuál es el sentido de la exogeneidad, de la técnica como dato, como variable externa. Finalmente, si se favorece el argumento de que las relaciones técnicas entre las industrias, y los cambios tecnológicos e innovaciones son protagonistas de cambios profundos, no solamente en las actividades económicas, sino también en las organizativas, entonces el modelo debe proporcionar las bases para entender un problema estructural

Objetivo. Construir diferentes arreglos matemáticos que permitan representar la producción de bienes duraderos de una economía mediante relaciones técnicas entre las industrias a través de las capacidades de transformación de los procesos, equipos y materiales que toman parte en la producción.

Definiciones

- R** Arbol industrial que representa al conjunto de procesos, equipos y materiales necesarios para llevar a cabo una actividad productiva en un tiempo determinado.
- Rp** Arbol industrial primario que representa al conjunto de procesos, equipos y materiales necesarios para llevar a cabo la actividad productiva de todas las industrias que forman una economía en un tiempo determinado.
- Rh** Arbol industrial hidráulico que representa al conjunto de procesos, equipos y materiales de una industria hidro-energética necesarios para convertir la energía hidráulica en energía eléctrica en un tiempo determinado.
- Rt** Arbol industrial tecnológico que representa el potencial tecnológico del conjunto de procesos, equipos y materiales del árbol industrial primario (Rp).
- Rd** Arbol industrial dinámico que representa el conjunto de procesos, equipo y materiales necesarios para llevar a cabo la actividad productiva en el tiempo.

- Re** Arbol industrial económico que representa la permeabilidad de los cambios en los procesos, equipos y materiales en la actividad económica (directa e indirectamente en un tiempo determinado):
- P** Procesos. Representación de las operaciones, especificaciones (de los equipos, materiales), tiempos necesarios para transformar, medir, evaluar insumos conocidos en productos controlados.
- E** Equipos. Maquinaria, aparatos, partes principales, instrumentos y herramientas necesarias para transformar, medir y evaluar los insumos conocidos en productos controlados.
- M** Materiales. Materia prima básica e insumos para su transformación. Pueden ser materias primas producidas, y recursos naturales orgánicos e inorgánicos.
- E** Equipo terminal. Maquinaria, aparatos, instrumentos no sujetos a mayores descomposiciones de sus partes o componentes. El **E** puede ser sectorial en la medida en que se defina un equipo terminal de una industria.⁶
- M** Material de moda. Material producido y de uso generalizado.⁷
- E** Equipo de moda.
- P** Proceso de moda
- Q_i** Parámetro de utilización total que representa indirectamente la sustitución de los procesos, equipos y materiales. Para cada uno se representa mediante ψ , φ , ω respectivamente.
- S** Razón de eficiencia potencial.

⁶ En el Rh puede definirse como E a los generadores, turbinas, equipo para el movimiento del suelo.
⁷ Un M puede ser el acero estructural

-**Yi** Índice que indica la tasa de cambio y dirección de las innovaciones que toman los procesos, equipos y materiales. Y_p , Y_e , Y_m se refieren a los procesos, equipos y materiales respectivamente.

2. El modelo

i) Estructura

El modelo está formado por variables reconocibles universalmente. Se refiere a los procesos (P) equipos (E) y materiales (M) que se utilizan en la producción y estos se agrupan de una forma coherente de acuerdo a las características de cada economía.

Procesos

Si $P = \{P_i, i=1, \dots, n_p, P_i \text{ es un proceso}\}$

$P_i \in P$

P es el conjunto de todos los procesos (P_i) en la economía.

Equipos

$E = \{E_j, j=1, \dots, n_e, E_j \text{ es un equipo}\}$

$E_j \in E$

E es el conjunto de todos los equipos (E_j) en la economía.

Materiales

$M = \{M_k, k=1, \dots, n_m, M_k \text{ es un material}\}$

$M_k \in M$

M es el conjunto de todos los materiales (M_k), materias primas producidas y recursos orgánicos e inorgánicos.

Las variables que integran una economía son un subconjunto de la economía mundial. Si por A entendemos a la economía mundial donde

$$A \{P,E,M\}$$

$$A = \{P_i, E_j, M_k \mid P_i \in P, E_j \in E, M_k \in M\}$$

$$\begin{aligned} i &= 1 \dots \dots \dots n_p \\ j &= 1 \dots \dots \dots n_e \\ k &= 1 \dots \dots \dots n_m \end{aligned}$$

y si A_1 es la economía de un país formada por P,E,M

$$\forall \{P \in A_1, E \in A_1, M \in A_1\},$$

$$\{P \in A, E \in A, M \in A\}, \Rightarrow A_1 \subset A$$

pero

$$A \subset A_1$$

y también:

$$R_p \subset R_{pm}$$

donde R_{pm} es el árbol industrial primario de la economía mundial pero

$$R_{pm} \subset R_p$$

ii) Grupos y subgrupos de variables

Las variables P, E, M pueden tomar valores discretos y entonces el árbol industrial queda determinado por la magnitud e interrelación con las variables mismas. Como se verá más adelante la primera se puede medir por la moda y la segunda por la sustituibilidad.

Procesos. Los procesos además de las operaciones necesarias para llevar a cabo la producción, incluyen los de diseño, administrativos, comerciales e institucionales.⁸ Si tenemos que el conjunto P está formado por los elementos

$$P = \{P_1, P_2, \dots\}$$

luego

$$P_i = P(i) = \{P_i \mid i \in I\}$$

donde

$$I \subset \{1, \dots, np\}$$

Si los elementos de P son a su vez subconjuntos posibles del conjunto P, se tiene que el conjunto de partes:

$$P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{in}$$

donde

$$I, U_{i2}, U_{i3}, \dots, U_{in} = \{1, \dots, np\}$$

$$P_{i1} \cup P_{i2} \cup P_{i3} \cup \dots \cup P_{in} = P = P_{i1} \cup P_{i2} \cup P_{i3} \cup \dots \cup P_{in}$$

Asimismo cada P_i puede estar formado a su vez por elementos de subprocesos. Si para cada elemento de P_i es a su vez un subconjunto posible del conjunto P_i , luego

$$P_i = \{P_{it} \mid i \in I\} \quad \text{que es un subconjunto procesos}$$

$$P_{(i)} = \{P_{it} \mid t \in T\}; \quad T = \{1, 2, \dots\}$$

tal que

$$P_i = \{P_{i1}\} \cup \{P_{i2}\} \cup \{P_{i3}\} \dots$$

tal que

$$P_i \subset P, \quad \text{pero} \quad P \not\subset P_i$$

⁸ Esto permite que el modelo puedan definir una variedad de procesos dentro de un rango determinado.

Equipo. El equipo utilizado puede estar formado por elementos como maquinaria (ema), aparatos (eap), instrumentos (ein), herramientas (ehe). E (E1, E2,)

$$E_j = E(J) = \{E_j \mid j \in J\}$$

donde $J \subset \{1, \dots, n_j\}$

Si todos los elementos de E_j son subconjuntos posibles del conjunto E tenemos:

$$E_{j_1}, E_{j_2}, E_{j_3}, \dots, E_{j_n}$$

donde

$$J_1 \cup J_2 \cup J_3 \cup \dots \cup J_n = \{1, 2, \dots, n_e\}$$

$$E_{j_1} \cup E_{j_2} \cup E_{j_3} \cup \dots \cup E_{j_n} = E = E_{j_1} \cup E_{j_2} \cup E_{j_3} \cup \dots \cup E_{j_n}$$

A su vez cada subconjunto esta compuesto por partes o componentes que se pueden representar como subconjunto tal como:

$$E_j = \{E_{jt} \mid j \in J\}$$

$$E(E_j) = \{E_{jt} \mid t \in T\} \quad ; \quad T = \{1, 2, 3, \dots\}$$

y que

$$E_j = \{E_{j_1}\} \cup \{E_{j_2}\} \cup \{E_{j_3}\} \cup \dots$$

tal que:

$$E_j \subset E, \quad \text{pero}$$

$$E_j \subsetneq E$$

Materiales. El conjunto de materiales está formado por los elementos recursos naturales (rn) y materias primas producidas (mpp). Si ambos materiales son M_k :

$$M_k = M(K) = \{M_k \mid k \in K\}$$

donde $K \subset \{1, \dots, n_m\}$

Si a su vez todos los elementos de M son subconjuntos posibles del conjunto M , se tiene:

$$M_{k_1}, M_{k_2}, M_{k_3}, \dots, M_{k_l}$$

donde

$$K_1 \cup K_2 \cup K_3 \cup \dots \cup K_l = \{1, \dots, n_m\}$$

$$M_{k_1} \cup M_{k_2} \cup M_{k_3} \cup \dots \cup M_{k_l} = M = M_{k_1} \cup M_{k_2} \cup M_{k_3} \cup \dots \cup M_{k_l}$$

Asimismo, ya sea que los recursos naturales puedan a su vez contener a todos los elementos y componentes orgánicos e inorgánicos (R_n) y el conjunto formado por los materiales producidos (M_{pp}) de forma que el conjunto M_k contenga los elementos de ambos, se tiene:

$$M_k = \{M_k \mid k \subset K\} \quad \text{subconjunto de materiales}$$

$$M(M_k) = \{M_{kt} \mid t \subset T\} \quad ; \quad T = \{1, 2, \dots\}$$

tal que

$$M_k = \{M_{k_1}\} \cup \{M_{k_2}\} \cup \{M_{k_3}\} \cup \dots$$

tal que $M_k \subset M$

pero

$$M \not\subset M_k$$

3. Desarrollo

i) El árbol industrial primario R_p

El R_p constituye el conjunto de procesos equipos y materiales necesarios para la producción de bienes duraderos-terminales en una economía. También puede entenderse como el conjunto de árboles industriales (R).

$$\forall \{P \in R_p, E \in R_p, M, R_i\}, P \in R_p, P \in E_p, P \in R_p \Rightarrow R_i \subset R_p$$

pero

$$R_p \subset R_i$$

donde R_i árboles individuales i y $R_1 \cup R_2 \cup R_3 \dots \neq R_p$.

La suma de todos los P, E, M de R de cada R_i es igual al conjunto de P, E, M de R_p , pero no la suma de cada R_i es igual a R_p .

La integración de los P, E, M de R se puede basar en un criterio sectorial, tecnológico, o industrial. El R puede construirse tomando como eje un equipo terminal difundido, un proceso o un material. Por ejemplo, se podrá integrar un R-hidráulico referido al proceso para convertir la energía hidráulica en mecánica y en eléctrica. O bien puede haber un R-turbinas referido al equipo, un R-acero referido a los materiales.

El R_p entonces es el conjunto de cada grupo de procesos, equipos y materiales. Desde luego que cada uno de estos elementos tendrá que ser agrupado con base en un criterio tecnológico principalmente y no económico. Esta es una importante diferencia de agrupación distinta al producto en el mercado ⁹. Así el R_p puede integrarse como la suma de todos los procesos (P_i), los equipos (E_j), y materiales (M_k).

$$R_p = \left\{ \sum_i^{np} P_i, \sum_j^{ne} E_j, \sum_R^{nm} M_k \right\} = \{P, E, M\}$$

donde: $|P_i|$ = número de P_i iguales (o similares).

$|E_j|$ = número de E_j iguales (o similares).

$|M_k|$ = número de M_k iguales (o similares).

y n implica el número de procesos, equipos y materiales distintos contenidos en el R_p .

Cada P_i , E_j , M_k de R_p puede desagregarse a su vez en subpartes ¹⁰. Sobre todo para analizar las innovaciones que en muchos casos por ejemplo los equipos son lo mismo pero no sus parte. Eso puede representarse como:

⁹ De hecho es una importante diferencia entre un enfoque de mercado y un enfoque industrial. Un problema que se tiene con un enfoque de economía industrial es que toma como base un agrupamiento industrial netamente de mercado y que aquí se resuelve haciendo menos dependiente la organización de la actividad industrial con base en un agrupamiento del producto en el mercado y con un fuerte sesgo tecnológico

¹⁰ Un ejemplo es la transición de diodos a transistores y a circuitos integrados como parte de un computador o equipo de sonido.

$$R_p = \left\{ \sum_I^{np} P_i, \sum_J^{ne} E_j, \sum_K^{nm} M_k \right\} = \{P, E, M\}$$

donde: $P_i = \{P_i \mid i \in I\}$,

$E_j = \{E_j \mid j \in J\}$,

$M_k = \{M_k \mid k \in K\}$,

pero entonces $||P_i||$ es el número de P_i iguales y $||P_i||$ es el número de partes iguales de P_i que pertenecen a P_i . Y lo mismo para $||E_j||$, $||M_k||$.

ii) De un R a **R_p**

Una forma conveniente de integrar los P, E, M de R_p es mediante la construcción de R(i). La forma de pasar de un proceso a todos los procesos, equipos y materiales se puede analizar mediante el cuadro 4-1 al final del capítulo. En él se observa las posibles combinaciones.

sea: $A = [b_{vu}]$ y $B = [PEM]$

donde B es una matriz cuadrada, compuesto por los elementos PEM_{vu} . Donde la variable PEM representa a su vez a los procesos, equipos y materiales. La matriz nos indica las combinaciones factibles que se tienen cuando se combina cada elemento. Cuando la matriz es de $PEM(3 \times 3)$, leyendo horizontalmente $PEM(1,2)$ significa el proceso 1 para producir el equipo 2, $PEM(2,3)$ el equipo para producir materiales. Aun en una matriz de este tamaño se podrá observar que habrá algunas combinaciones donde no habrá una producción real.

Cuando la PEM_{vu} comprende los elementos de R y a partir de este árbol se pasa a R_p , se puede iniciar este proceso escogiendo un determinado árbol industrial como R_i con sus respectivos conjuntos de P_i , E_j , M_k y desarrollando a partir de estos elementos iniciales todos los procesos, equipos y materiales concatenados con el R_i y así

sucesivamente hasta agotar todos los P,E,M. Una forma de seleccionar la segunda y tercera iteración es agotando los equipos en primer término, los materiales en segundo y los procesos en tercero. Las iteraciones necesarias para completar todos los Ri y formar el Rp depende del grado de agrupamiento de P,E,M y de identificar las rutas más cortas para cubrir toda el Rp de la economía.

iii) Reemplazo

El reemplazo de los P, E, M tiene diferentes resultados. En primer lugar, los P, E, M que lo sustituyen respectivamente por lo general presentan modificaciones marginales o substanciales que a su vez hacen más productivo a P, E, M. Segundo, cuando los P, E, M no tienen modificaciones por lo regular no hay un incremento en su productividad¹¹.

Considerando ahora la perspectiva de un análisis de valor mediante precios, puede ser que cuando exista un incremento en la productividad el precio aumente, permanezca constante, o inclusive disminuya, logrando en este último caso una doble ventaja: la de incrementar la productividad y al mismo tiempo bajar su precio. En el segundo caso también puede aumentar el precio, mantenerse a un nivel o bajar. Desde el punto de vista de la teoría tecnológica es común distinguir en los equipos y en los materiales que la mejoras provienen tanto de mejorar los procesos sin modificar el producto final como de modificar el producto final sin afectar el proceso. En ambos el efecto en los precios es diferente.

En la producción y específicamente en las industrias, es común encontrar formas diferentes para fabricar un producto intermedio o final y que en buena parte refleje a las industrias que compiten en un mercado. Las diferencias entre las industrias pueden estar determinadas por los diferentes procesos, equipos y materiales empleados en cada una de ellas. Así, se introduce la sustitución como forma de reflejar los diferentes métodos para producir y, a su vez se involucra a los procesos, equipos y materiales para una determinada producción. Es evidente que esta combinación equivale a diferenciar entre industrias o bien a que en una industria específica existan

¹¹ Esto no quiere decir necesariamente que para que haya un incremento en la productividad debe haber modificaciones en los PFM's

varias formas de obtener el producto final. La forma de representar la sustitución en el modelo está basada en la ponderación de los P, E, M.¹²

Sea R_p tal que

$$R_p = \Psi(P), \phi(E), \omega(M)$$

donde Ψ, ϕ, ω representan respectivamente los factores de utilización para cada uno de los procesos, equipos y materiales. En particular se tiene :

$$\begin{aligned} \Psi &= 1, \dots, n \\ \phi &= 1, \dots, n \\ \omega &= 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$y \quad \sum_i^n \Psi_i \leq 1, \quad \sum_i^n \phi_i \leq 1, \quad \sum_i^n \omega_i \leq 1$$

donde $\Psi_i \leq 1, \quad \phi_i \leq 1, \quad \omega_i \leq 1$

En el modelo se concibe la sustitución radical cuando el P, E, M deja de ser moda y la moda toma P, E, M nuevo. En la misma forma cuando los P, E, M no dejan de ser moda se tiene una sustitución incremental ante los P,E,M nuevos. Estos dos efectos no sólo pueden ocurrir en los grupos de P, E, M sino también en los subgrupos o partes de P, E, M.

Dado:

$$P_i = P(I) = \{P_i \mid i \in I\}$$

$$I \subset \{1, \dots, n_p\}$$

¹² Si por ejemplo en la conversión de energía hidráulica en energía mecánica y esta a su vez en energía eléctrica nos referimos a equipos y en particular al equipo de turbinas, podemos decir que el subconjunto máquinas hidráulicas del conjunto equipo puede tomar la forma de turbinas pelton, francis o kaplan, y con esto representar varias turbinas. Aunque la utilización de estas turbinas esta en función del flujo y la carga neta, en el modelo toda la producción de energía eléctrica mediante la conversión de energía hidráulica puede estar contenida en la utilización de turbinas. Así también, si R_{hmq} es un subconjunto de R_p podemos representarlo como: $R_{hmq} = f(P,E,M)$, donde R_{hmq} es el árbol industrial hidráulico-máquinas a diferencia de la infraestructura civil por un lado y de la transmisión de energía por otro, que en conjunto: obra civil, máquinas, y transmisión forman un desarrollo hidráulico.

y si P_i es un proceso vigente y $P_{i'}$ es un proceso que sustituirá a P_i , entonces habrá un P_i que pueda sustituirse por otro $P_{i'}$ de forma que $||P_i|| \leq ||P_{i'}||$ sea cada vez menor y por lo tanto el \mathbf{P} moda será un subconjunto de \mathbf{P} donde $||P_i||$ es el número de procesos del tipo (i) y $||P_{i'}||$ es el número de procesos de tipo (i').

$$\mathbf{P} \subset \mathbf{P} \text{ pero no } \mathbf{P} \subset \mathbf{P}$$

A su vez $P(i) = \{P_{it} \mid t \in T\}$

$||P_{it}||$ se puede sustituir por $||P_{it+1}||$ de tal forma que la parte $||P_{it}||$ será $||P_{it+1}|| \leq ||P_{it+1}||$

y entonces $||P_{it+1}||$ sea un \mathbf{P} de moda que sustituya a $||P_{it}||$.

De la misma manera cuando $||P_{it}|| > ||P_{it+1}||$ la sustitución será incremental ocurriendo solamente en los subprocesos de $P(i)$.

iv) Tasa de crecimiento de la eficiencia (s)

En general existe una tendencia a incrementar la eficiencia en cada uno de los procesos, equipos y materiales a través de mejorar cada uno de estos. Dentro del universo de procesos, equipos y materiales las eficiencias difieren, pero existen equipos que trabajan a niveles cercanos a la máxima eficiencia posible, (normalmente dada como porcentaje) y equipos que trabajan a bajas eficiencias. Aunque existe comúnmente una relación entre la máxima eficiencia (100%) y la real, esta relación por lo regular se adapta mejor a los equipos, pero aun así se pueden encontrar analogías para los procesos y los materiales.

Los especialistas han diferido al proponer medidas de rendimiento con el objetivo de encontrar una medición tecnológica. En los procesos las diferencias son mayores de sector a sector y la comparación no siempre es homogénea, mientras que en

los materiales las variables a comparar son más comunes. Zaidaman y Cevidalli (1989) han discutido las variables que definen la eficiencia en los procesos químicos, y otros autores, como R. Ayres (1985) en los materiales. Además de que las mediciones son susceptibles de transformaciones para la obtención de índices, en muchos existe una jerarquía que permite contabilizar los más significativos bajo determinados objetivos. En muchos casos los parámetros que determinan la eficiencia de una máquina o un equipo, se asocia con la eficiencia de un proceso en sí. En algunos casos la separación del proceso y del equipo resulta difícil porque uno es imagen y semejanza del otro. Pero en muchos otros, la dificultad se presenta cuando la concepción de un sólo proceso involucra varios equipos, y cuando los equipos tienen procesos intrínsecos en sí. De cualquier forma, el desglose de las operaciones efectuadas por los procesos, ya sean contenidos en equipos o sin equipos (casos primitivos), son la base para una medición y evaluación de la capacidad y calidad de los procesos.

Los materiales por su parte se pueden caracterizar por las propiedades físicas, mecánicas, térmicas, eléctricas o químicas. Dentro de cada una de éstas habrá desde luego un número menos reducido de parámetros y módulos que midan las propiedades que denotan el material.¹³ Sin embargo, para la fabricación de un equipo, no importan tan sólo las características propias de los materiales sino también sus modificaciones en términos de adquirir formas diferentes sin afectar la cantidad misma del material y afectando o reduciendo el material. Así es común que muchas veces, los módulos que describen las características de los materiales no sean tan cruciales como la facilidad que se tiene para modificarlos. En este sentido se prefiere un material a otro porque es mejor soldable, fácil de maquinar, de fundir etc. Los materiales deben analizarse por las características intrínsecas y la facilidad de su transformación para hacer posible la construcción de un equipo. Existe un *trade off* entre lo que se pierde por no aprovechar las características potenciales y naturales y lo que se gana por la facilidad que se tiene para transformarlo.

¹³R. Ayres (1985) describe una taxonomía para materiales de alta resistencia basada en módulos de compresión, tensión, densidad y las posibles combinaciones entre estas mismas características.

4. Dinámica económica y el índice tecnométrico IDETEIC¹⁴

Este índice indica la tasa y la dirección que sigue un árbol industrial. En consecuencia está en función de la tasa y dirección de los procesos, equipos y materiales contenidos en un árbol industrial. El índice refleja a las innovaciones radicales e incrementales en un tiempo determinado.

Para que la innovación radical e incremental se pueda relacionar con un índice que mida el avance, se debe relacionar con la moda de los procesos, equipos y materiales. Una innovación radical tiende a cambiar la moda de los componentes del árbol industrial mientras que la incremental no los afecta. Así cuando cambia el material de moda por otro material dentro de un árbol industrial determinado se habla de una innovación radical; mientras que cuando cambia el material pero no afecta el árbol industrial determinado es una innovación incremental. En términos cuantitativos se refiere a la tasa de cambio y a la magnitud de utilización ya que ésta última da lugar a que existan procesos, equipos y materiales que tengan poco peso en el árbol industrial pero que perduren por periodos y que imposibiliten la sustitución. Así un cambio radical se relaciona con cambios bruscos en la utilización de P, E, M.

Si R_p es el árbol primario compuesto por P, E, M, cada árbol industrial dinámico R_d , va estar determinado por:

$$R_d = f(Y_p(P), Y_E(E), Y_M(M))$$

donde:

Y_p es el índice de los procesos

Y_E es el índice de los equipos

Y_M es el índice de los materiales

y donde la suma de los R_d sería igual a R_d .

¹⁴ Índice de estado tecnológico-económico-institucional-cultural (Ideteic)

El índice tecnométrico IDETEIC refleja los factores que determinan la creación de innovaciones y la difusión de las innovaciones. En gran parte este índice es una modificación de los índices analizados por diferentes autores y se aboca a obtener la medición de los cambios tecnológicos no sólo basados en cambios autónomos, ya sean tecnológicos o científicos sino también considerando aspectos económicos, institucionales y culturales. Debido a que no se rechaza la hipótesis de que las innovaciones radicales pueden tener una raíz no exclusiva del ámbito científico sino de mercado e institucional, cualquier fuente de innovación ya sea radical o incremental puede tener su origen en cualquier tipo de variable. Esto hace que en el modelo se privilegie la representación de cambios radicales provenientes no solo de variables científicas o de mercado sino también de variables institucionales y tecnológicas.¹⁵

Cada índice se determina por variables que corresponden al proceso, equipo o material (P,E,M) del árbol industrial. Estas pueden definirse como variables de estado:

$$Y = (X_i, Z_i, W_i, Q_i, C_i)$$

- donde
- | | |
|---|---------------------|
| X_i representa las variables con una base tecnológica | $i = 1, \dots, n_x$ |
| Z_i representa las variables con una base científica | $i = 1, \dots, n_z$ |
| W_i representa las variables con una base de mercado | $i = 1, \dots, n_w$ |
| Q_i representa las variables con una base institucional | $i = 1, \dots, n_q$ |
| C_i representa las variables con una base cultural | $i = 1, \dots, n_c$ |

El avance tecnológico se mide por las ventajas *trade off* entre diferentes variables; en lo que se gana y se pierde por la combinación de determinadas variables.

¹⁵ Este aprovechamiento es una hibridación de varios esfuerzos por obtener índices tecnométricos. Por un lado al aprovechamiento de Esposito (1993) al incorporar variables económicas y el de Sahal (1984,85) como fundamento para separar las variables de régimen a las latentes. La diferencia estriba en que aquí se permite que una innovación considerada como radical desde el punto de vista tecnológica pueda o no repercutir en los P,E,M. Y que a su vez una innovación radical sea expulsada por fuerzas del mercado o institucionales. Así no se puede hablar de una taxonomía entre innovaciones radicales con una base científica-tecnológica exclusivamente como innovaciones incrementales con una base de mercado-institucionales exclusivamente.

Cada variable puede tener atributos de diseño, comportamiento, habilidad, experiencia, especialización etc ¹⁶.

El conjunto de variables puede representar tanto a un régimen de comportamiento representado por la superficie de la estructura del conocimiento actual, como a un estado latente que representa la base del conocimiento científico-social. Los avances en la superficie de la estructura del conocimiento tecnológico se pueden entender en términos de movimientos de los diferentes regímenes en el tiempo. La forma del movimiento de las diferencias en la superficie de estado se puede considerar como una función de densidad constante (isodensidad).

Sean dos variables, X_1 y X_2 distribuidas normalmente. El "estado del arte" tecnológico en la superficie está dada por la elipse paralela al plano X_1, X_2 . (Fig. 4-3 y 4-4). Desde el aspecto tecnológico, el régimen tecnológico se puede también representar por tres variables o más. En este sentido el aprovechamiento sigue en parte el desarrollado por Sahal. Así el progreso técnico puede interpretarse por la distancia (tecnométrica) entre los centroides. La esencia del estado del arte se representa por el contorno de la evaluación topográfica de la superficie como se observa en la figura 4-5.

Cuando se tienen agrupados dos conjuntos de variables representando cada uno diferentes épocas pero con el mismo objetivo, se puede entonces tener el régimen de función. De esta manera se puede tener una función tecnométrica dependiendo del número de características (n variables distintivas) y de los sugerentes coeficientes para que concuerde con su distribución. Si las variables analizadas corresponden a una evaluación tecnológica este régimen puede expresarse como:

$$Y = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \dots + \alpha_n X_n$$

donde Y es un parámetro tecnológico (índice entero) obtenido a partir de aplicar valores $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$, dadas las variables de régimen $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Cuando los

¹⁶ Estas variables denotan un contenido técnico y económico las cuales forman un espacio de n dimensiones. De acuerdo con Sahal estas características representadas por variables distintivas son distribuidas normalmente y la superficie identificada es una elipse $S(0)$ con n dimensiones y un centroide $C(0)$. A un tiempo diferente al $T(0)$, por ejemplo $T(1)$ se encuentra una nueva elipse $S(1)$ con un centroide $C(1)$. La distancia entre los centroides de las dos elipses $C(0)$ y $C(1)$ puede considerarse como una medida de cambio tecnológico.

pesos se obtienen mediante la relación de la variación total y la de cada grupo de variables el índice será la unidad.

Cuando las innovaciones son explicadas por una base científica siguen la misma argumentación que para evaluar el índice entero, solamente que el concepto de progreso técnico está basado en leyes físicas. Así el índice que se obtiene es:

$$Y_z = \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_3 Z_3 + \dots + \alpha_n Z_n$$

donde Y_z es un parámetro, resultado de obtener valores (α) para las variables (latentes) $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ las cuales representan leyes físicas.

El índice económico se basa en aplicar variables en un sentido (tradicional) económico y de mercado.

$$Y_w = \alpha_1 W_1 + \alpha_2 W_2 + \alpha_3 W_3 + \dots + \alpha_n W_n$$

donde W son las variables económicas como precio, grado de competencia, crecimiento vertical, capacidad de gestión, riesgo etc.

El índice institucional:

$$Y_Q = \alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 + \alpha_3 Q_3 + \dots + \alpha_n Q_n$$

donde las $Q_1 \dots Q_n$ representan las variables económicas, sociales, ambientales pero desde una perspectiva institucional y no de mercados competitivos. Estas variables pueden ser subsidios, tasas impositivas, costo de transacción, efectos externos, defensa, educación.

El índice que se obtiene por variables culturales como dieta, recursos naturales, concentración del ingreso, pobreza extrema, denotan, a diferencia de las institucionales una permanencia en el tiempo sin ser modificada por políticas económicas y sociales.

$$Y_C = \alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_3 + \dots + \alpha_n C_n$$

Cada proceso, equipo y material será afectado entonces por cada uno de los índices IDETEIC. Se puede representar de la siguiente forma mediante una matriz de interrelaciones.

Arbol industrial dinámico

| Indice IDETEIC | Procesos P ₁P _n | Equipos E ₁E _n | Materiales M ₁M _n |
|----------------|--|---|--|
| Y _x | | | |
| Y _z | | | |
| Y _w | | | |
| Y _q | | | |
| Y _c | | | |
| | Y _P | Y _E | Y _M |

5. Permeabilidad

La permeabilidad analiza los efectos directos e indirectos de las innovaciones en el Rp, y el Rd. De hecho toma en cuenta otros estudios que han analizado el sector tecnológico, el grupo industrial que lo produce y el grupo industrial que lo consume.¹⁷ El aprovechamiento que se sigue parte de medir los efectos directos e indirectos dentro

¹⁷ Ver por ejemplo archibugui (1988) que discute la forma de analizar los efectos directos basados en un aprovechamiento de insumo producto y en un sector tecnológico desarrollado en la economía inglesa

del árbol industrial y los P,E,M que generan la innovación y los P, E, M que explotan la innovación.

La diferencia entre este aprovechamiento y otros es que no considera los sectores de la actividad industrial directamente. Sin embargo en el modelo de árbol industrial éstos quedan incluidos al incorporar en los índices IDETEIC no sólo los grupos industriales sino también los institucionales ya que se parte del hecho de que una institución puede también promover y generar innovaciones.

Por otro lado la ubicación de ciertos equipos resulta obvio para algunas innovaciones. Por ejemplo la producción de generadores eléctricos tiene que ver con fabricantes ampliamente conocidos y su agrupamiento industrial. La producción de aceros también guarda una relación común con el grupo industrial y su clasificación industrial. Con este agrupamiento no se pierde mucho al no incorporar en el árbol un patrón que ayude a identificar la ubicación de la industria que genera la innovación. En lugar de esto se hace énfasis en lo que Archivugui (1988) reconoce como el sector tecnológico como sujeto y sector industrial en tanto objeto.

La permeabilidad de las innovaciones se observa cuando impacta al conjunto de la economía y cuando un proceso, equipo o material explota más intensivamente una innovación que el que la genera. Esta permeabilidad en términos de R se debe diferenciar entre los efectos plasmados en el R_p y el R_d . En el R_p los efectos a consecuencia de una modificación o sustitución de un P, E, M se dan en tiempo t_0 , mientras que en R_d en t_1 . En el primero, la sustitución es inmediata y, en el segundo es potencial ya que, por ejemplo, cualquier P_i que se vea severamente amenazado por un $P_{i'}$ deberá mejorar para contrarrestar la sustitución. Esto desde luego sólo puede ocurrir cuando el R involucra bienes duraderos.

Los efectos sobre R se pueden agrupar. Cuando un P_i es sustituido por un $P_{i'}$ se tiene una sustitución directa en el sentido de que P_i deja de utilizarse. Además de que $P_{i'}$ afecta a P_i , también podrá afectar directamente a posibles E_i y M_i ya que serán sustituidos a su vez por $E_{i'}$ y $M_{i'}$. Esto ocurre cuando el proceso $P_{i'}$ implica otros equipos y/o materiales.

Por otro lado, el efecto indirecto ocurre cuando los $P_{i'}$, $E_{i'}$, $M_{i'}$ pueden afectar a otros P, E, M, y a su vez estos últimos a otros posibles P, E, M.¹⁸ De esta manera se puede concebir un multiplicador de la innovación que afecta a P,E,M tanto

¹⁸De hecho esto es igual a los efectos directos e indirectos que se conocen en el modelo insumo producto. La diferencia estriba en que el arreglo para resolver el sistema de ecuaciones es diferente.

directamente como indirectamente. Una diferencia importante con el modelo de insumo producto es que el análisis dinámico se hace con los cambios mismos de P,E,M ya que es esto mismo lo que se hace al analizar las innovaciones que en el fondo son otra forma de explicarlas dinámicamente. Así, mientras que un análisis insumo producto es estático por definición, el R que se estudia puede analizarse estática y dinámicamente. Esta es una de las mayores ventajas que ofrece un análisis mediante P,E,M.

Sin embargo, en un análisis dinámico se tendrá no un R_p en el tiempo sino un análisis de partición de R_d ¹⁹. En términos de P,E,M significa que cada P_i, E_i, M_i será un posible sustituto potencial en el sentido de que tanto P_i, E_i, M_i podrán ser una opción técnica, económica e institucionalmente con el desarrollo propio de los P, E, M iniciales ---- que a su vez se verán amenazados por la sustitución y, por lo mismo, en el tiempo desarrollarán mejoras para contrarrestar a P_i, E_i, M_i ²⁰.

En la práctica el modelo sólo trata de bienes duraderos, y por lo tanto los efectos indirectos tienen menos relevancia ya que la sustitución dependerá de que el *trade off* entre la superioridad del nuevo P,E,M contrarreste el precio y la depreciación acelerada. Por lo mismo, si el precio a la baja se combina con el rendimiento del equipo los efectos indirectos tendrán una gran relevancia. Esto se puede interpretar como sistemas tecnológicos y revoluciones tecnológicas. La diferencia estará en función del grado de permeabilidad de los P,E,M removidos por las olas de innovaciones. En el modelo esto puede interpretarse como la combinación de los P,E,M, sustituidos en cada R_d .

6. Conclusiones

Este capítulo analizó la necesidad de diseñar un modelo que contemplara más de cerca las transformaciones de la producción a diferencia de los análisis que evalúan las transformaciones de la producción en partes. Es decir enfatiza en la complementariedad entre los aprovechamientos de árbol industrial y los de cadenas productivas.

¹⁹ O sea varios R_d correspondientes a equipos tecnológicos, materiales o procesos. Por conveniencia del modelo se usa los equipos aunque pueden ser cualquiera

²⁰ La sustitución no será inmediata como en el caso del efecto directo que implica un R_d . inclusive en este mismo no es inmediata estrictamente porque requiere de tiempo para su adaptación. En la practica se puede considerar inmediata en un rango de una año.

La discusión de estructura productiva y cambios tecnológicos ha sido analizada mediante el desarrollo de un árbol industrial el cual ha permitido : a) describir las relaciones técnicas entre las industrias en forma primaria a través de P,E,M b) y al mismo tiempo analizar los cambios tecnológicos en los P,E,M .

Estos han sido dos argumentos poderosos para delinear el concepto de árbol industrial. El árbol industrial es un desarrollo que tiene por objetivo ir mas a fondo en las modificaciones de la materia prima a través de los procesos y los equipos. La diferencia con las cadenas productivas es que estas no analizan los procesos al interior de las industrias y parten del supuesto de que existe un ritmo de correlación entre la eficiencia técnica y la económica. Si este supuesto fuera verdadero solamente se resolvería parte del problema. Es decir representar las transformaciones de la materia prima mediante insumos de trabajo y capital. Sin embargo además de que se ha comprobado directa e indirectamente de que esto no sucede a través de los capítulos 2 y 3, el aprovechamiento de cadenas productivas no sería el idóneo para analizar el grado de autonomía de los cambios tecnológicos frente a fuerzas de mercado. En otras palabras el génesis de los cambios tecnológicos no se podría analizar. Esto no quiere decir que la relación entre las industrias mediante valor agregado no sea útil. Simplemente no cumple con las exigencias que requiere un análisis del binomio cambios estructurales y cambios tecnológicos. Esto se debe como se ha sostenido porque existen elementos autónomos independientes de las fuerzas de mercado que hacen crear y promover innovaciones.

El árbol industrial es un análisis de la producción mediante un rompimiento de esta. Es un análisis longitudinal de la producción a través de P,E,M. El modelo es una descripción muy primaria de la actividad económica porque no incorpora precios. Pero permite mostrar las tendencias que se dan en la estructura productiva. Así se busca un modelo que pueda representar a toda la economía mediante los P,E,M. Se parte de una economía simplificada pero esto no quiere decir que no sea generalizable ya que bien se pueden ubicar todas las actividades económicas a través de diferentes procesos. Inclusive al modelo de árbol industrial puede con gran detalle representar a actividades nuevas en los servicios y equipos de la informática.

Los elementos de precio y factores se han incorporado a través del índice IDETEC que refleja no solo variables económicas sino científicas, tecnológicas, institucionales y culturales. Esta incorporación de variables hace que una estructura

primaria de árbol industrial Rp se pueda modificar para encontrar un árbol dinámico Rd. El árbol Rd es el Rp influenciado por los cambios tecnológicos los que a su vez dependen de variables IDETEC. En este sentido es como se ha representado un estado que refleje las condiciones primarias de la actividad productiva y posteriormente la dinámica tecnológica que a la par de incorporar el problema de autonomía de los cambios tecnológicos se incorporan indirectamente valores mediante variables económicas.

La estructura productiva que se obtiene parte entonces del análisis de un Rp y un Rp modificado por la influencia del índice IDETEC. Este último se estima no a partir de mediciones convencionales (patentes e IyD) sino por una función tecnométrica que favorece la influencia de variables distintivas las cuales delinean la tasa y dirección de los cambios tecnológicos.

Cuadro 4-1

Interacción de variables

| | Procesos | Equipos | Materiales |
|------------|----------|---------|------------|
| Procesos | P/p | P/E | P/M |
| Equipos | E/P | E/E | E/M |
| Materiales | M/P | M/E | M/M |

El cuadro muestra las posibilidades de relación tanto inter-actividad como intra-actividad de los P,E,M. También puede describirse en forma algebraica mediante la combinación de cada renglón y cada columna. Si ambos son representados por los subíndices i, j se puede deducir por ejemplo que el proceso $P_{1,1}$ describe la posibilidad de producir el proceso P_j mediante el proceso P_i . Sin embargo de acuerdo con los subíndices descritos en el capítulo P,E,M le corresponden i,j,k y de esta forma también se puede describir la interrelación.

En la mayoría de los casos todas las combinaciones tienen un sentido real pero no en todas se tiene la misma jerarquía. Así por ejemplo los materiales para producir los procesos ($M_k P_i$) tendrán menos relevancia o en todo caso se conocerá menos en comparación con los equipos donde por lo regular todas la combinaciones tienen una significancia real. ($E_j P_i$, $E_j E_j$, $E_j M_k$).

También debe mencionarse que la complejidad de las relaciones es creciente. No es lo mismo los materiales para producir materiales, es decir materia prima para materiales ($M_k M_k$), que los $M_k P_i$ o inclusive $P_i P_i$ (materiales para los procesos y procesos para procesos). Inclusive algunas combinaciones como $M_k P_i$ pueden no necesariamente tener sentido económico.

El R_p que cubra toda la economía implica la consideración de todas las combinaciones posibles y reales $R_{(i)}$. Debido a que muchos procesos, equipos y materiales se repiten en diferentes ramas industriales, no necesariamente se tiene que cubrir todas la combinaciones de P_i, E_j, M_k para representar los P, E, M del R_p . Una forma práctica es iniciar con combinaciones con alta moda y de esta forma casi cubrir la totalidad de los P, E, M del R_p sin llegar a cubrir todas las combinaciones posibles. De hecho, es precisamente esta la forma de analizar toda la economía ya que los P, E, M se repiten en diferentes actividades industriales. Por ejemplo el proceso de diseño mediante Cad-Cam es una forma ya muy difundida en varios sectores de la actividad económica lo cual implica que solamente debe detectarse una vez. De la misma manera se presenta con materiales de uso difundido como el aceros, el cemento.

Cambios en la estructura productiva dados por el árbol industrial hidro-energético

1 Introducción

Una de las aplicaciones del modelo de árbol industrial se basa en el sector energético y éste, a su vez, en un conglomerado de industrias asociadas a la producción de energía con una tecnología hidro-energética. El análisis se basa en el árbol industrial de turbinas hidráulicas de tipo Francis.

Aunque el sector energético es muy amplio y ciertamente el sector hidro-energético tiene una ponderación menor en contraste con la totalidad de la producción de electricidad, es una industria madura donde se han experimentado diferentes cambios tecnológicos que han llevado a las turbinas a trabajar a más de 94% de su eficiencia. Esta eficiencia ha sido favorecida por eminentes transformaciones de otros sectores en especial por la industria metal-mecánica, los aceros estructurales, materiales nuevos, los procesos de diseño que han hecho posible no solamente fabricar turbinas mejores sino indirectamente han incidido en los costos y el desarrollo de las obras y equipo propio de la ingeniería civil que al mismo tiempo ha promovido los proyectos hidro-energéticos.

Las tecnologías para convertir energía son variadas y la energía eléctrica ha ocupado un lugar central, y ocupará un lugar importante, ya que no sólo dependerá del desarrollo de las tecnologías actuales como la termal o la nuclear, sino que competirá con otras como la solar y otras fuentes nuevas, que obtienen el mismo producto, energía eléctrica, con las mismas características de calidad que las prevaecientes.

A diferencia de otras industrias, la producción de turbinas hidráulicas se caracteriza por:

- a) guardar una relación tecnológica estrecha con otros sectores de la producción que han madurado paralelamente y en donde ha habido un intercambio permanente de conocimiento tecnológico;
- b) ser un sector que ya ha generado diferentes tipos de innovaciones y también ha mostrado su capacidad para absorber innovaciones de otros sectores;
- c) ser un sector que ha acumulado un gran número de innovaciones que han hecho aumentar la eficiencia de las turbinas lo que permite además hacer un análisis más completo a diferencia de otras industrias que aún no llegan a una etapa madura;
- d) disponer de una parte de la información que hace posible construir

series históricas, e) ser un sector que, a diferencia de los procesos térmicos para la conversión de energía, presenta menos dificultad en su análisis ya que a pesar de los volúmenes de material y el tamaño de algunas turbinas, las innovaciones en la producción de este tipo de equipos son más fáciles de analizar a diferencia de las turbinas de vapor o de gas.

2 El árbol industrial hidro-energético: R_h

R_h parte de la obtención de energía eléctrica a través del proceso de conversión de energía hidráulica en energía mecánica y ésta a su vez en energía eléctrica. Para la conversión de energía eléctrica se requiere de la construcción de infraestructura, del equipo que convierte la energía hidráulica en mecánica y en eléctrica, y el equipo de transmisión. En cada una de estas etapas hay un grupo de procesos, equipos, y materiales (P, E, M). Esquemáticamente se aprecia como sigue:

| INFRAESTRUCTURA | GENERACION | TRANSMISION |
|----------------------|----------------------|-------------------|
| Edificios | Turbinas hidráulicas | Subestaciones |
| Cortina y vertederos | Válvulas | Torres |
| Obras de conducción | Tuberías | Transformadores |
| Vaso | Generadores | Cable |
| Equipo | Equipo de control | Equipo de control |
| P, E, M | P, E, M | P, E, M |

Para poder transmitir la energía hidráulica a las turbinas y el generador (casa de máquinas) se requiere construir la infraestructura del proyecto hidro-eléctrico compuesto, entre otros, por el vaso contenedor, los vertederos, la cortina, los edificios, las naves, y para lo cual se utilizan procesos (constructivos), equipos (para la construcción como tractores, trascabos, grúas, equipo para el movimiento de tierra), y materiales (como cemento, acero estructural, aditivos, impermeabilizantes, combustibles, etc). De la misma forma, para convertir la energía hidráulica se requiere de procesos, equipos y materiales para la fabricación de turbinas y el generador; para la transmisión se requiere de subestaciones, torres y equipo de transmisión, y así sucesivamente. El cuadro A5-1 muestra estos componentes en mayor detalle.

3 El R_g , una derivación del R_h

Del R_h se deriva, por una parte, al equipo de generación compuesto por la turbina, la tubería, las válvulas, y otros equipos de control, y por otra, el generador y los componentes periféricos. Así el R_g puede estar referido a su vez a las máquinas y a las turbinas como producto final¹. Las turbinas hidráulicas pueden a su vez descomponerse en sus partes para analizar los procesos, equipos, y materiales necesarios en la producción de cada una de ellas. Esto se observa en el cuadro A5-2.

El árbol industrial que se obtuvo, resultó del análisis de dos alternativas. La primera es considerar el producto energía eléctrica y analizar los P, E, M para su obtención. La segunda es considerar a las turbinas hidráulicas como producto y analizar los P, E, M para producirla. En ambos casos se incrementan las dificultades cuando se analizan los procesos y los equipos requeridos para la producción de cada uno de ellos.

En el caso de la energía eléctrica prácticamente se requiere analizar dos equipos, los materiales que se tornan un tanto diversos, y los procesos que implican particularidades ya que la transformación de la energía hidráulica en mecánica, es diferente de la conversión de la energía mecánica en eléctrica pudiendo esta última acarrear mayores dificultades al desagregar los P, E, M del generador. Este análisis se vuelve complejo por el proceso para la obtención de energía eléctrica, porque implica analizar dos máquinas completamente diferentes (turbina y generador) y porque presenta una mayor diversificación de materiales.

Por otro lado, la turbina como producto refleja una parte de la transformación de energía, la conversión de energía hidráulica en mecánica, y los P, E, M presentan cierta homogeneidad y pertenecen al mismo sector tecnológico de la metal-mecánica. Es decir que los equipos, como las máquinas-herramientas, prensas, cortadoras, etc., presentan gran similitud tecnológica y solamente la fundición presenta divergencias. Dentro de la configuración de los materiales, básicamente predominan los aceros, los cuales además están muy relacionados con la fundición lo que hace más fácil su análisis a través de los materiales. Los procesos son lo mismo que las máquinas-herramientas en sí ya que consideran las operaciones de formación, conformación y doblado, cortado, forjado, pegado, por un lado, y las operaciones de maquinado con arranque de viruta, por el otro; entre ambas representan los procesos que han perdurado por décadas. A esto, desde luego, se incorpora el proceso de diseño que ha tenido cambios importantes y que representa una partitura muy relevante ya que no sólo refleja un mejor producto sino también las transformaciones de los procesos de toda la industria lo que permite

en gran medida que los resultados del modelo analizado sean susceptibles de generalizarse a otros sectores de la economía.

Lo anterior hace que sea práctico considerar la turbina hidráulica como base para la construcción del R_h o bien que el R_h que se estudia se refiera a la producción de turbinas hidráulicas. Se hace esta selección por conveniencia porque al analizar el árbol industrial turbinas Francis (R_f) se refiere al conjunto de procesos, equipos, y materiales para producir una turbina la cual forma un componente importante del sistema de generación hidro-eléctrico y a su vez está altamente relacionada con la industria metal-mecánica. Para efectos de hacer una aplicación se puede no hacer una distinción rigurosa entre R_h y R_f .

4 El dualismo del equipo terminal

Las turbinas se pueden considerar como equipo terminal y ser el objetivo del árbol industrial, y al mismo tiempo formar el elemento "equipo" de los P, E, M para producir las turbinas². Es decir, que la razón de los P, E, M es a su vez parte del elemento equipo. Este dualismo simplifica enormemente el análisis y no disminuye su rigor porque los P, E, M para producir una turbina no son distintos de los P, E, M para producir los equipos que producen la turbina como la maquinaria y el equipo para la conformación del material, el de unión, maquinado, terminado, traslado. No cabe duda que en algunos casos habrá diferencias pero en términos generales, lo que suceda con los adelantos en las máquinas-herramientas, los materiales, los procesos, y las variables económicas se reflejará y serán equivalentes al de las turbinas.

Además, se parte del supuesto que, a diferencia de otros sectores, los equipos son buen reflejo de los procesos y al evaluar estos últimos se está indirectamente evaluando los primeros. Esto ocurre porque cada proceso está, por lo general identificado con un equipo y no sucede, como en otros sectores, que para un proceso se requieran equipos diferentes.³

¹ También puede considerarse como un equipo terminal sin implicar un mayor desglose de sus partes.

² La turbina a que se hace referencia es de tipo Francis. Esta turbina es una máquina de fluido motora de reacción aplicada para un rango amplio de alturas (m) y flujo (m^3/seg). Las turbinas se pueden clasificar por el grado de reacción: cuando el grado de reacción es nulo a este tipo de turbinas comúnmente llamadas Pelton son de acción, cuando la reacción no es cero la dirección del flujo ya sea diagonal y axial determinan que las turbinas sean Francis para el primero, y Kaplan, Bulbo para el segundo. A su vez ambas pueden tener un mecanismo de regulación del flujo a través de los alabes fijos u orientables. Ver el diagrama DA5-1 en el apéndice.

En el mercado no se puede decir que exista una definitiva clasificación de las turbinas ya que la aplicación de las características principales como son la altura de presión y el flujo puedan aplicarse a diferentes diseños que antes eran menos comunes (ver el diagrama DA5-2). El caso de las turbinas Straflo (dentro de la familia de las bulbo) y las normalizadas empiezan a adquirir mayor presencia. En los últimos años desde el punto de vista potencia las que han predominado son las Francis con más del 60% de Mw instalados en el mundo, pero desde el punto de vista unidades las turbinas bulbo predominan incluyendo a las Straflo.

³ Otra forma de expresarlo es simplemente desagregar cada proceso en función de cada equipo.

El R_f puede estar determinado por los siguientes P, E, M

| Procesos (P_i) | Equipo ⁴ (E_j) | Materiales (M_k) |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Diseño | Turbina | Aceros |
| Conformación | | Soldaduras |
| Mecanizado | | Lubricantes |
| Terminado | | Otros |
| Traslado | | |
| Colocado y probado | | |

Por simplicidad y por restricciones de información se considera un sólo equipo y un grupo de procesos y un grupo de materiales. Primeramente en el grupo de los procesos, el de diseño abarca la totalidad de la turbina. Es evidente que existe una gran relación entre el diseño de la turbina, el generador, y el diseño del proyecto y la construcción de la infraestructura civil. La conformación agrupa a todos los procesos que no implican arranque de viruta mientras que el mecanizado hace lo opuesto. En el primero, se incluye la fundición, la forja, la pailería y el proceso de pegado con soldadura. En el segundo, los procesos de mandrilado, cepillado, fresado, taladrado, torneado y, en general, todo lo que es desbaste de metal. Ambos procesos incluyen los procesos de colocación y fijación y también procesos como el control y la medición. No fue posible aislar estos dos últimos para un análisis más profundo por la dificultad en separarlos.

El terminado incluye el tratamiento térmico a determinadas partes de la turbina y el tratamiento para evitar la oxidación. El transporte, la colocación, y las pruebas se agrupan en uno mismo.

5 La escalarización del R_f

Los procesos, equipos, y materiales del R_f para efectos del árbol primario en turbinas Francis se basan en el registro de la utilización de cada uno de los P, E, M del R_f . Este valor es

⁴ El equipo necesario para la producción de turbinas está relacionado prácticamente con cada proceso. De esta forma se tiene equipo de cómputo (hardware y software), de fundición (hornos, cucharas de vaciado, moldes, centrífugo), laminados y forja (laminadores, rodillos y trenes, martillos, prensa hidráulica), remachado, soldado (arco, tubular), maquinado (tornos, fresadoras, cepillos, mandriladoras), transporte (grúas viajeras), terminado (hornos, transportadores, tanques), traslado (tractocamiones). Desde luego que el análisis por separado de cada equipo es laborioso ya que muchos de ellos representan a su vez subprocesos que implican otros equipos diferentes. Por simplicidad se ha tomado la turbina hidráulica como equipo y a la vez como producto del R_h a sabiendas que sólo puede ser representativo de una parte importante de los procesos involucrados en su producción (y, por lo tanto de los equipos).

indicativo y describe la utilización de cada P, E, M en diferentes etapas para producir un equipo o material. Este escalas no es indicativo de la intensidad con que se utiliza cada P, E, M lo cual estaría en función del tiempo utilizado y su frecuencia, o bien se puede medir en términos de valor mediante los precios.

Se consideran los siguientes: $\{P_i\}$, $\{E_j\}$, $\{M_k\}$ para el R_f :

| Tipo de proceso (P_i) | Nombre | Frecuencia |
|------------------------------|----------------------------------|------------|
| 091 | Diseño del proyecto | 1 |
| 092 | Diseño hardware y software | 1 |
| 093 | Diseño turbinas | 1 |
| 261 | Fundición | 1 |
| 262 | Maquinado con arranque de viruta | 1 |
| 263 | Medición y control | 1 |
| 264 | Montaje y preparación | 1 |
| 265 | Transformación sin viruta | 1 |
| 266 | Tratamiento superficie | 1 |
| 267 | Tratamiento térmico | 1 |
| 268 | Transformación con soldadura | 1 |
| 28 | Transporte | 1 |
| 29 | Instalado y probado | 1 |
| Tipo de equipos (E_j) | | |
| 30 | Turbina hidro-Francis | 1 |
| Tipo de materiales (M_k) | | |
| 0112 | Aceros estructurales | 1 |
| 0113 | Aceros inoxidables | 1 |
| 0114 | Aceros especiales | 1 |
| 013 | Soldaduras | 1 |
| 017 | Material de corte | 1 |
| 021 | Lubricantes | 1 |
| 040 | Otros | 1 |

Como se observa, el valor de la moda de cada proceso, equipo y material es la unidad. Esto se debe a que para producir una turbina se requiere de los P, E, M los cuales son indicativos. No se describe la importancia de cada proceso, equipo, o material en términos de la intensidad en tiempo o valor. Esta descripción resulta de mayor utilidad cuando se compara con las industrias de la metal-mecánica y de la electricidad principalmente. Se puede hacer una comparación haciendo referencia a los cuadros A5-3 - A5-6 que se describen en el anexo y se comparan con el conjunto de procesos, equipos y materiales.

Una interpretación del R_p mediante el R_f es precisamente la representación de los P, E, M de R_f y los P, E, M de la totalidad de las industrias de la metal-mecánica. Para representar

esto necesariamente se tiene que incorporar una valuación que mida la intensidad del proceso sin utilizar valores ni tiempo directamente. Para ayudar a resolver este problema se pueden descomponer los equipos en sus partes y cuantificar el número de veces que se utiliza determinado proceso o material. La descomposición de las partes es un aspecto central ya que involucra el concepto de equipo y, al mismo tiempo, involucra los elementos que en conjunto forman un equipo pero que aislados no representan nada dado que no tienen utilización práctica. Esta descomposición es parecida al concepto de molécula y los elementos que la forman. En el fondo lo que se está haciendo es diferenciar los P,E,M de las partes de un equipo de los P,E,M del equipo terminado.

Si descomponemos el equipo de turbina en sus partes podremos analizar entonces la intensidad de los procesos y materiales no de las partes aisladamente sino del equipo en su conjunto por simple adición. Un resultado que se tiene al hacer esto se deriva del cuadro 5-7 de la sección 9 sobre la estructura productiva y los cambios tecnológicos. Este resultado es un árbol primario de Rp de la producción de turbinas que incorpora no solo el proceso, equipo o material, sino un coeficiente de intensidad.

$$R_p = 3P_1D_2 + 5P_1D_3 + 5P_2C_1 + 2P_2C_2 + 5P_2C_3 + P_2C_4 + 8P_3 + 2P_4 + 9P_5 + E_1 + 2M_1 + M_2 + 2M_3 + 4M_4 + 6M_5$$

Donde P_1 indican los procesos de diseños, P_2 de conformado, P_3 de arranque de viruta, P_4 de terminado, P_5 de traslado e instalado, E_1 los equipos, y M los materiales (estructurales, inoxidable y soldaduras principalmente).

6 La eficiencia potencial

La eficiencia de las turbinas hidráulicas ha experimentado dos etapas que se pueden considerar fundamentales.⁵ Antes de que los alabes directrices fueran móviles a bajas cargas, las turbinas obtenían eficiencias de un orden de entre 45% y 65%. Posterior a la difusión de alabes móviles, el rango de eficiencia con la carga más baja llegaba a 85%. Esto se ha observado en los diagramas de eficiencia de algunos fabricantes de turbinas en los Estados Unidos los cuales no difieren mucho de los fabricantes europeos. Posteriormente, en este siglo la eficiencia no ha variado considerablemente y los cambios que se esperan son relativamente muy pequeños. En

⁵ La eficiencia de una turbina depende de las pérdidas hidráulicas, volumétricas y mecánicas. La eficiencia se puede determinar por el producto de la eficiencia interna y la eficiencia mecánica o considerando el producto de la eficiencia hidráulica volumétrica y mecánica. En ambos la eficiencia no depende de la altura. Véase Mataix (1982), Viejo Zubizaray y Alonso (1977), De Parres (1966).

1920, las turbinas Francis operaban con una eficiencia mayor al 85% (Russel, 1925), en los años cincuenta al 90%, y los incrementos han sido muy marginales llegando a 93 %⁶ en los ochenta y las diferencias en los incrementos no sobrepasan la unidad porcentual. Es de esperarse que la eficiencia siga creciendo marginalmente y exista cierta tendencia a bajar el costo de Kw instalado total.

7. La dinámica tecno-económica

I. La evolución de las turbinas Francis

Antecedentes

En la segunda mitad del siglo XIX ocurren cambios básicos que hacen modificar drásticamente los rendimientos de las turbinas. No es difícil sostener que los cambios tecnológicos procedentes del mismo sector ocurrieron (y ocurren en la industria metal-mecánica) en una etapa de formación de la industria. No se puede pensar de otra forma ya que una transformación profunda con innovaciones de otros sectores derivaría en otro producto. La evolución de las turbinas necesariamente tuvo que gestionarse con cambios e innovaciones generadas en el seno mismo de la rama tecnológica.

Los antecedentes de la primera turbina provienen de modificaciones hechas por Combe a los tubos de salida para el agua a manera de dejarlos contiguos dando origen a un cambio entre la rueda hidráulica y la turbina hidráulica.

Muchos reconocen, sin embargo, que la turbina de hoy tuvo su origen al modificar parte de la turbina Cadiat mediante la adaptación de alabes dentro del rodete para permitir hacer que el agua tome una dirección. Con esta modificación, y haciendo que el rodete quedara ahogado en el agua, se logró bajas velocidades absolutas a la salida dando así origen a lo que muchos reconocen como la primera turbina.

Una modificación muy importante está representada por la turbina Henschel Joval al incorporar el tubo de succión lo cual hizo que se aprovechara la caída disponible⁷ de forma íntegra. Las turbinas Francis modifican la turbina permitiendo que la admisión del agua sea externa y desarrollando una turbina radial o vórtice la cual hace que la entrada del agua alcance los alabes y salga en dirección paralela al eje de rotación.

⁶ De acuerdo con A Puyo (1963) las eficiencias más altas en los sesenta llegan a 93.5% de eficiencia.

La incorporación de paletas Fink y su construcción por Voith en 1873 permite un sistema de regulación constante y hace que la turbina alcance niveles de carga mas eficientes mediante la regulación de la admisión.

Modificaciones y perfeccionamientos menores del los mecanismos produjeron mejoras en cada uno de estos cambios al grado que a principios de este siglo las firmas norteamericanas y europeas tenían ya una clara descripción de las eficiencias alcanzables bajo cargas diferentes.⁸ Los diagramas de la firma Morgan Smith son un buen ejemplo de esto.⁹

La turbina Francis en este siglo

Se puede medir la evolución de las turbinas Francis mediante la velocidad específica (Ns) ya que en cierta forma resume las características más importantes de la turbina. Esta variable está determinada por la velocidad de rotación (rpm), por la caída (m), y por el flujo de agua (m³/seg). Otra forma de interpretar un resultado parecido es considerar la potencia de la turbina (Kw).¹⁰ La velocidad específica ayuda a entender la evolución de la turbina y al mismo tiempo a superar problemas en la comparación entre diferentes tamaños y diseños de turbina que responden a la combinación de alturas y caudales diferentes¹¹.

La potencia de las turbinas se asocia a la explotación específica del lugar caracterizada por el aprovechamiento hidro-eléctrico en términos de altura potencial y flujo. Mediante un proceso iterativo entre una primera información y un primer cálculo del potencial de lugar se logran especificar los rangos de los tamaños y potencias de las turbinas, y las velocidades específicas¹². Posteriormente es a partir de una determinación más completa de la principales variables y formas que se gestan distintas opciones de diseño que concluyen en la determinación de no solo todos los procesos para llegar a la turbina óptima, sino también de las tuberías y el generador. Sin embargo, no existe de por sí una receta que sea uniforme para todos los fabricantes de turbinas y sobre todo en periodos diferentes. De acuerdo con Puyo (1963) y con

⁷ Esta modificación tiene cierto paralelismo con las modificaciones hechas a la máquina de vapor para aprovechar la diferencia de temperaturas mediante un enfriador. Ver artículo Ferguson (1964).

⁸ Otras modificaciones a los inventos originales ocurren cuando otros fabricantes logran reproducir en mayor escala los desarrollos propuestos. Por ejemplo la Rueda tangencial de Zuppinger en 1842 para grandes saltos y caudales reducidos. Girard perfeccionó la turbina Fontaine que era aprovechada para grandes caudales y estaba basada en la turbina axial de Jonvall. En 1912 se desarrolla la turbina Kaplan.

⁹ Ver por ejemplo el libro de G. Russel "Hydraulics" cuyo primera edición apareció en 1909 y en donde en posteriores ediciones en 1925 incorpora diagrama de fabricantes de turbinas.

¹⁰ Dos formas comunes de estimar la Ns es $Ns = nP^{0.75}H^{1.25}$ considerando la potencia y $Ns = nQ^{0.5}H^{0.75}$ considerando el flujo.

¹¹ Ver el recuadro R-A5-1 en el apéndice sobre datos técnicos de las turbinas Francis.

¹² El Profesor Rabee menciona las diferentes iteraciones que se deben hacer para llegar a una última decisión óptima en cuanto al tipo de turbina, potencias, rangos de velocidades, eficiencias alcanzadas. Rabee (1989). Ver también Weeg (1992) y R-A5-1

la experiencia recogida en los años cuarenta y cincuenta, el énfasis debe apuntar a la reducción de costos variables y no tanto a la inversión, mientras que para Lugaresi y Massa (1987) se debe escoger la máxima potencia a un costo mínimo. Se trata de dos posiciones diferentes: una da prioridad a la reducción de los costos de reemplazo y reposición, mientras que la otra pone énfasis en los costos en su conjunto.

Los cambios de la velocidad específica y de la eficiencia de las turbinas no son espectaculares y si en cambio son incrementales. Realmente los cambios más dramáticos ocurrieron el siglo pasado con mayor dinamismo. Los cambios en este siglo son muy significativos en el sector tecnológico mismo, pero no tienen una repercusión dramática en la Ns ni en la eficiencia.

Para efectos del estudio, se pueden analizar los cambios en la turbina mediante el componente H-Ns que mide la suma de las distancias entre la asociación de la altura y la Ns bajo diferentes curvas de regresión en periodos diferentes (ver la variable X1 del Recuadro R5-2). La Ns por sí sola no puede medir diferentes turbinas en el tiempo, sobre todo si en los periodos se explotan diferentes alturas correspondiendo a diferentes potencias. Por esto, el componente H-Ns es una medida que refleja el conjunto de las turbinas, incluyendo desde las turbinas de más de 15 Mw de potencia hasta las más grandes.¹³ El cuadro 5-1 muestra el valor del componente H-Ns que en su conjunto muestra la evolución de la turbina.

Cuadro 5-1
Componente H-Ns

| Periodo | Valor |
|---------|-------|
| 1920-30 | 6,889 |
| 1940-50 | 8,630 |
| 1955-60 | 7,765 |
| 1965-69 | 7,755 |
| 1930-40 | 7,847 |
| 1950-55 | 8,405 |
| 1960-64 | 7,559 |
| 1970-74 | 7,829 |
| 1975-85 | 8,713 |
| 1985-85 | 7,902 |

Fuente: Con base en Cuadros A5-8, A5-42-3, R5-2, R-A5-3, R-A5-7

¹³ Ver lo correspondiente a la definición de variables para la estimación del componente H-Ns (variable X₁) en el R5-2 de la siguiente sección.

Diferentes especialistas han estudiado esta cuestión¹⁴ llegando a concluir cambios significativos en la Ns a altas caídas y cambios marginales en caídas bajas. Sin embargo del análisis de la información y la evaluación del componente H-Ns que se estimó, a pesar de que este es alto en los años cuarenta y, por lo tanto, en las explotaciones con caídas bajas las explicaciones son diferentes. Por un lado, el resultado que se obtiene en los periodos 1940-55 puede estar sesgado dado que el valor de H-Ns considera alturas hasta de 500 metros las cuales en estos años son menos comunes. Sobre todo son turbinas Francis las que explotan estos aprovechamientos y no las Pelton¹⁵. Esto hace que el componente en este periodo pueda estar sesgado y dé un valor mayor. Sin embargo tampoco se le pueden hacer ajustes al componente ya que exhibe una buena asociación entre las variables con un alto coeficiente de correlación y lo que mide el componente es la posición de esta curva y su desplazamiento hacia arriba y a la derecha que indica un cambio favorable en la Ns. El cuadro 5-2 muestra el ajuste de la ecuación de regresión a valores uniformes de la altura para cada uno de los periodos estudiados donde se ve cómo a mayores alturas los valores de la Ns son más bajos en los años treinta, se incrementan en los cuarenta y en el periodo 1975-85. Aquí tampoco se puede deducir un sesgo impuesto por la curva de regresión durante los cuarenta cuando no se explotaba a alturas de más de 150 metros para las turbinas Francis.

Esto también se observa en la gráfica 5-1 la cual además permite apreciar mejor dos crestas; la de los años cuarenta y la de los ochenta. Esto implica que a pesar de que el valor del componente Ns-H es mayor en los ochenta, no es tan distante en relación a lo logrado en los cuarenta. Esto se debe principalmente a dos generaciones de turbinas con los mismos principios, pero diseñadas y construidas de diferente forma.¹⁶ Sin embargo, el hecho de que a caídas bajas implique mayores opciones para los generadores síncronos favorece la tesis de que el dominio de la tecnología de los cuarenta, tanto en el tamaño de la explotación, como en el diseño de turbina y su fabricación, son lo suficientemente importantes para obtener Ns altas, las cuales no sería posible superar más que en un periodo (1975-85), seguramente una vez que se domina la tecnología de los años setenta y ochenta.

¹⁴ Ver por ejemplo, Puyo A. (1963), Siervo F. y Leva F. (1976), Cassaci, *J et al* (1977), Lugarasi y Massa (1987) quienes discuten la tendencia de las turbinas Francis y la evolución de la Ns.

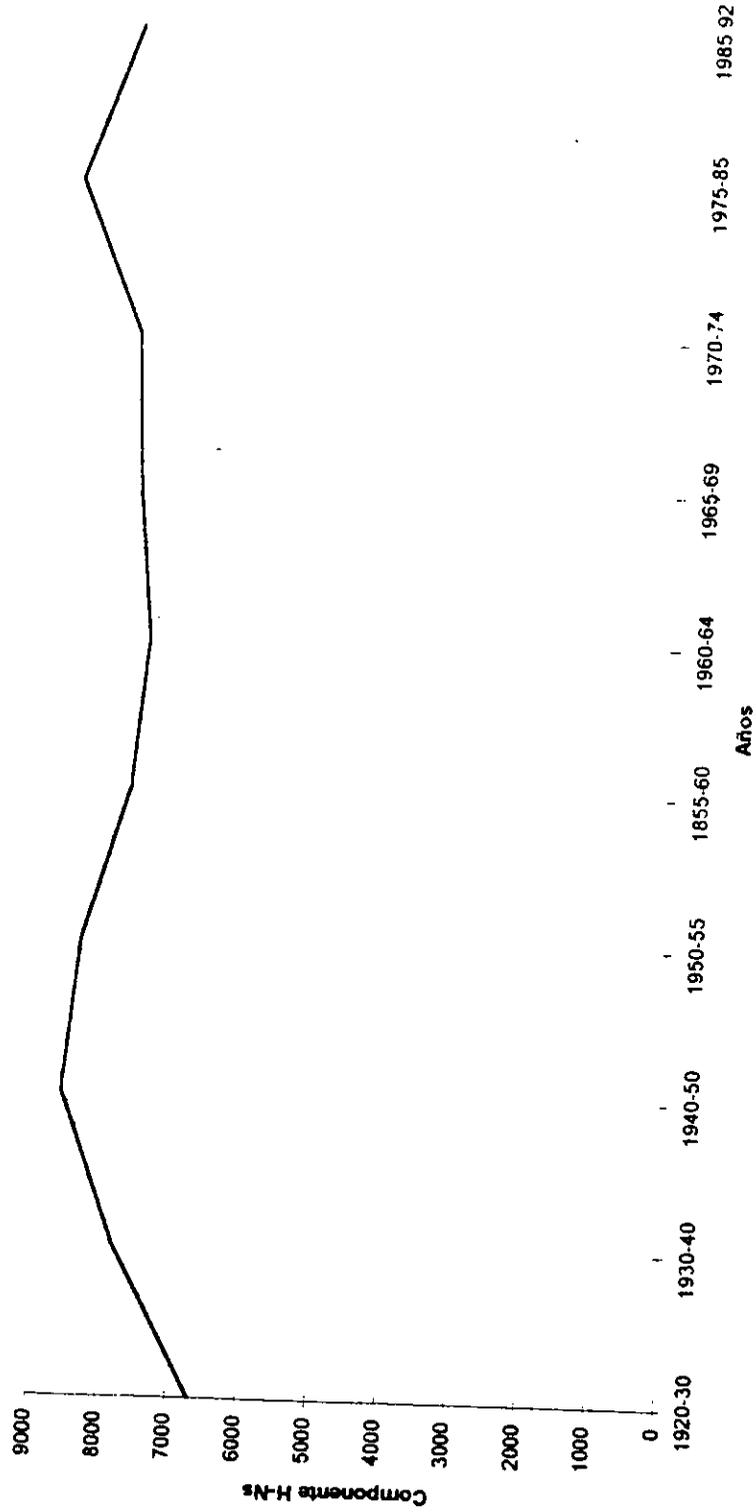
¹⁵ Es reconocido que la gama de opciones donde la Francis tiene amplia ventaja sobre las turbinas Pelton y las Kaplan es entre 25 y 450 metros. Sin embargo, de acuerdo con Lugarasi y Massa (1987), la turbina Francis bien puede competir a alturas de hasta 700 metros.

¹⁶ A diferencia de las explicaciones que sugieren Siervo y Leva (1976) y Lugarasi y Massa (1987), quienes estudian los periodos de 1960 a 1974 y 1975 a 1985 aquí se muestran periodos anteriores.

| ALTURA mts | Cuadro 5-2 Componente H-Ns | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 1920-30 | 1930-40 | 1940-50 | 1950-55 | 1955-60 | Ajustado 1960-64 | 1965-69 | 1970-74 | 1975-85 | 1985-92 |
| 50 | 204.060531 | 316.221016 | 381.7302 | 361.308075 | 302.638945 | 283.568469 | 302.403281 | 305.431268 | 390.888489 | 317.240443 |
| 70 | 172.734239 | 266.251461 | 325.37771 | 307.784054 | 256.411535 | 239.333067 | 255.950493 | 260.005916 | 332.807072 | 268.622884 |
| 85 | 162.635482 | 244.759709 | 299.596536 | 283.620254 | 236.759165 | 221.088725 | 236.222689 | 240.561673 | 306.109413 | 247.6028 |
| 100 | 159.572957 | 231.582732 | 282.347062 | 267.759925 | 224.981294 | 210.680256 | 224.412323 | 228.810447 | 288.116283 | 234.649409 |
| 115 | 161.393562 | 224.333752 | 271.168997 | 257.826013 | 218.843198 | 205.871747 | 218.269057 | 222.583911 | 276.305567 | 227.465339 |
| 130 | 166.674716 | 221.545161 | 264.587189 | 252.384073 | 216.957412 | 205.257835 | 216.395812 | 220.536841 | 269.170317 | 224.637087 |
| 140 | 171.615973 | 221.655771 | 262.257152 | 250.765624 | 217.578253 | 206.683651 | 217.031484 | 221.02493 | 266.506712 | 224.681974 |
| 150 | 177.432172 | 223.069368 | 261.313627 | 250.498059 | 219.440422 | 209.309871 | 218.911876 | 222.742384 | 265.254367 | 226.008448 |
| 160 | 183.951434 | 225.596226 | 261.577951 | 251.403815 | 222.361982 | 212.950604 | 221.853856 | 225.512768 | 265.232605 | 228.433543 |
| 170 | 191.037807 | 229.076399 | 262.899527 | 253.332774 | 226.189561 | 217.450214 | 225.703117 | 229.187019 | 266.289312 | 231.802724 |
| 180 | 198.583717 | 233.374195 | 265.149516 | 256.156387 | 230.793175 | 222.678026 | 230.328956 | 233.63843 | 268.294389 | 235.984544 |
| 190 | 206.503918 | 238.374153 | 268.216572 | 259.763655 | 236.062403 | 228.524229 | 235.620411 | 238.758969 | 271.135346 | 240.866795 |
| 200 | 214.730669 | 243.977916 | 272.003826 | 264.058258 | 241.903363 | 234.896547 | 241.48321 | 244.456423 | 274.714205 | 246.353547 |
| 210 | 223.209938 | 250.101683 | 276.426671 | 268.956386 | 248.236229 | 241.717444 | 247.837255 | 250.652051 | 278.945257 | 252.362751 |
| 220 | 231.898435 | 256.674059 | 281.411039 | 274.385017 | 254.993121 | 248.921756 | 254.614487 | 257.278615 | 283.753328 | 258.824225 |
| 230 | 240.761304 | 263.634212 | 286.892011 | 280.280496 | 262.11631 | 256.454684 | 261.757068 | 264.278688 | 289.072398 | 265.677934 |
| 240 | 249.770327 | 270.930298 | 292.812658 | 286.587318 | 269.556671 | 264.270087 | 269.215817 | 271.603201 | 294.844455 | 272.872508 |
| 250 | 258.902541 | 278.518096 | 299.12304 | 293.257082 | 277.272362 | 272.329059 | 276.948876 | 279.210197 | 301.018508 | 280.363967 |
| 270 | 277.464682 | 294.423276 | 312.743114 | 307.521961 | 293.392203 | 289.051228 | 293.100437 | 295.133086 | 314.398725 | 296.092125 |
| 290 | 296.33349 | 311.108448 | 327.462113 | 322.797847 | 310.24805 | 306.413703 | 309.98422 | 311.816972 | 328.915544 | 312.620377 |
| 310 | 315.430045 | 328.395905 | 343.056127 | 338.873038 | 327.672367 | 324.266108 | 327.433068 | 329.091318 | 344.338659 | 329.769345 |
| 330 | 334.698712 | 346.153598 | 359.351762 | 355.585188 | 345.540745 | 342.498165 | 345.322983 | 346.828777 | 360.489282 | 347.40498 |
| 350 | 354.099512 | 364.282424 | 376.214121 | 372.809079 | 363.759839 | 361.028001 | 363.561011 | 364.933318 | 377.228039 | 365.426165 |
| 375 | 378.492549 | 387.352608 | 397.930452 | 394.912541 | 386.92069 | 384.516769 | 386.742403 | 387.970436 | 398.814444 | 388.379239 |
| 400 | 403.00573 | 410.777047 | 420.210709 | 417.520401 | 410.416948 | 408.286813 | 410.256282 | 411.361 | 420.986608 | 411.702971 |
| 450 | 452.284499 | 458.390574 | 466.017192 | 463.847782 | 458.134536 | 456.430703 | 458.00224 | 458.909276 | 466.626833 | 459.153925 |
| 500 | 501.786707 | 506.700164 | 512.985372 | 511.197514 | 506.513449 | 505.121306 | 506.4027 | 507.160298 | 513.474978 | 507.339719 |
| | 6889.06565 | 7847.26025 | 8630.86225 | 8405.18962 | 7765.69423 | 7559.59807 | 7755.76541 | 7829.47821 | 8713.73134 | 7902.33977 |

Fuente: Cuadro A-5-42-2, A5-42-3, R A-5-3 y R-A5-7

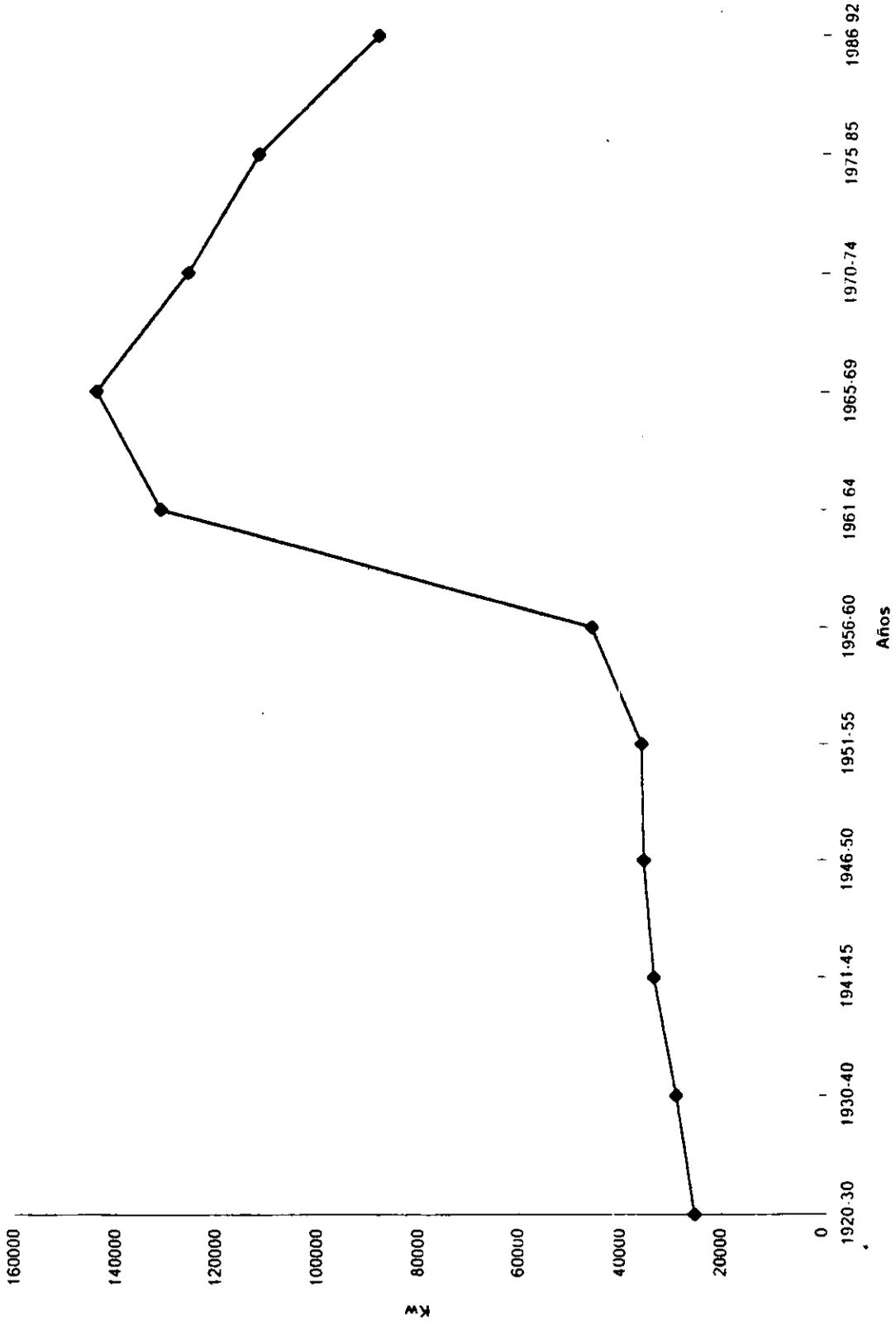
Gráfica 5-1



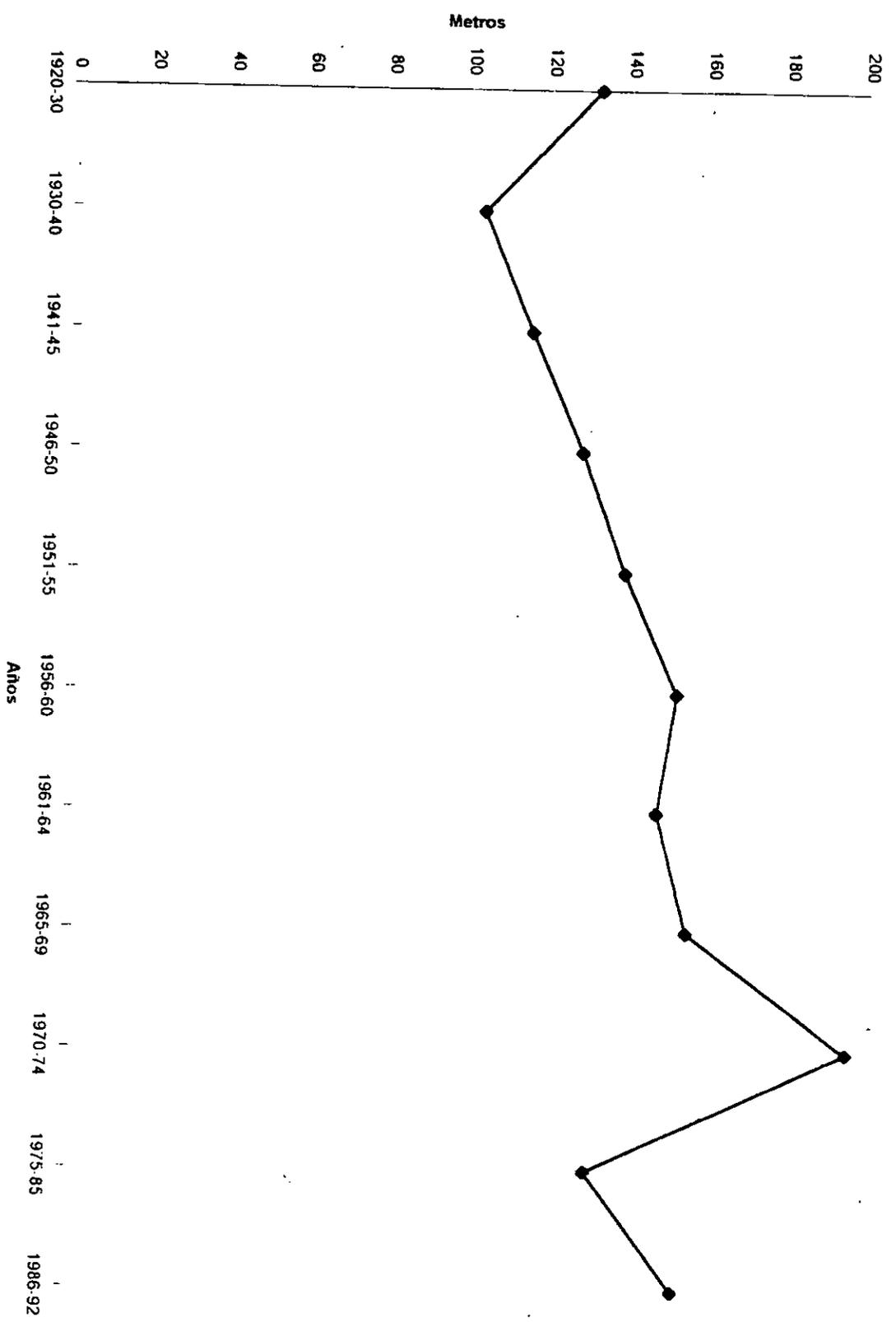
Gráfico

5-2

Grafica Potencia media Kw



Gráfica Altura promedio





Se pueden resumir estas tecnologías como sigue:

- a) Las turbinas anteriores a los cuarenta en su mayoría explotaban saltos que implicaban potencias no mayores a los 60 Mw, mientras que en los sesenta y setenta la explotación de saltos mayores y caudales más grandes implicó la construcción de turbinas grandes algunas de ellas llegando a potencias de hasta 600 Mw y a veces más. Esto se observa fácilmente en las gráficas 5-2 y 5-3 que muestran el promedio de potencia de las turbinas y las caídas promedio de las explotaciones en el mundo respectivamente. De ambas gráficas se deduce que a pesar de que los cambios en la potencia de las turbinas es radical no lo es en las alturas promedio. Esto es consecuencia de explotar proyectos hidrológicos con mayor caudal y con menor número de turbinas, pero más potentes, en vez proyectos con mayor número de turbinas pero con menor potencia característico de las explotaciones anteriores a los años cincuenta.
- b) De lo anterior se desprende también una asociación entre los promedios de altura explotada y la tasa de crecimiento de los Mw fabricados en turbina. El cuadro 5-3 muestra que después de los setenta la tasa de crecimiento de las explotaciones hidrológicas inician un proceso decreciente el cual está asociado también a la declinación de las grandes alturas por explotar. Esta relación también da cuenta del recurso en sí ya conocido. A nivel mundial la explotación de los recursos hidrológicos es decreciente, lo que hace que su participación sea cada vez menor con respecto al total de la producción de energía eléctrica producida.

Cuadro 5-3
Tasa de crecimiento de las turbinas
fabricadas en Mw instalados

| Periodo | Tasa |
|---------|------|
| 1930-40 | 7.1 |
| 1941-50 | 7.0 |
| 1951-60 | 3.9 |
| 1961-70 | 8.8 |
| 1970-80 | 5.0 |
| 1981-93 | -4.2 |

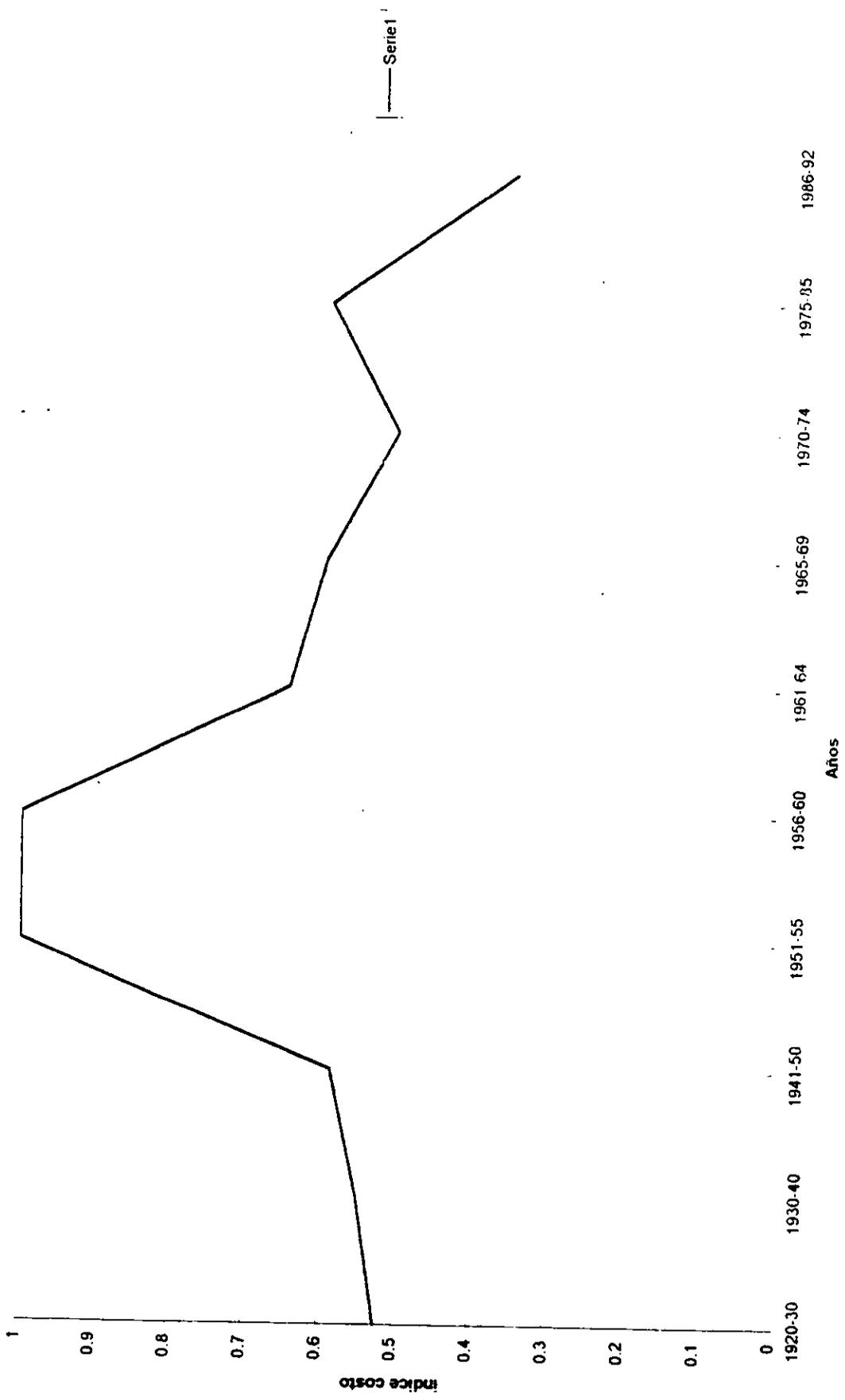
Fuente: Con base en los cuadros A5-11-1 y R-A5-7

También se vuelve a notar que en el cambio a caudales mayores resulta más económico la instalación de turbinas de gran capacidad que de turbinas de menor capacidad. Esto se

asocia con el costo de los Mw instalados en la totalidad del proyecto hidroeléctrico en comparación con el costo de los Mw por turbina fabricada. El costo del Mw instalado con respecto al total del proyecto baja más rápidamente que el costo del Mw producido en la turbina, indicando una fuerte tendencia a instalar turbinas de mayor capacidad que turbinas de menor potencia. De hecho se observa una tendencia decreciente más franca en el costo del Mw del proyecto en conjunto en comparación con la fluctuación en el costo de los Mw fabricados en turbinas. Ver la gráfica 5-4 con respecto al costo de Mw del conjunto del proyecto hidroeléctrico en general y la gráfica 5-5 con respecto al costo del Mw de la turbina.

- c) Las tecnologías son diferentes en los años cuarenta y en los ochenta lo cual implica que en la fabricación de las turbinas los equipos, procesos y materiales son diferentes.
 - i) En los cuarenta son diferentes y todavía en los cincuenta se maximizan los tamaños de las turbinas y de los proyectos que durante más de 50 años se explotaron llegando a su nivel máximo a finales de este periodo. Esta maximización se basó en los procesos de forja y de fundición junto con las tecnologías para unir materiales a base de procesos de fresado y taladrado, ribeteado y reblonado con aceros estructurales que no cambiaron substancialmente durante casi la primera parte del siglo.
 - ii) Se especializa la mano de obra alcanzando un crecimiento máximo durante los cuarenta, como se observa en el sector de la metal-mecánica de los Estados Unidos; después es decreciente. Asimismo como se observa en el cuadro 5-4, el número de trabajadores por máquina disminuye con mayor intensidad en la década de los veinte que en cualquier otro periodo

Grafica Índice Costo Mw-turbina

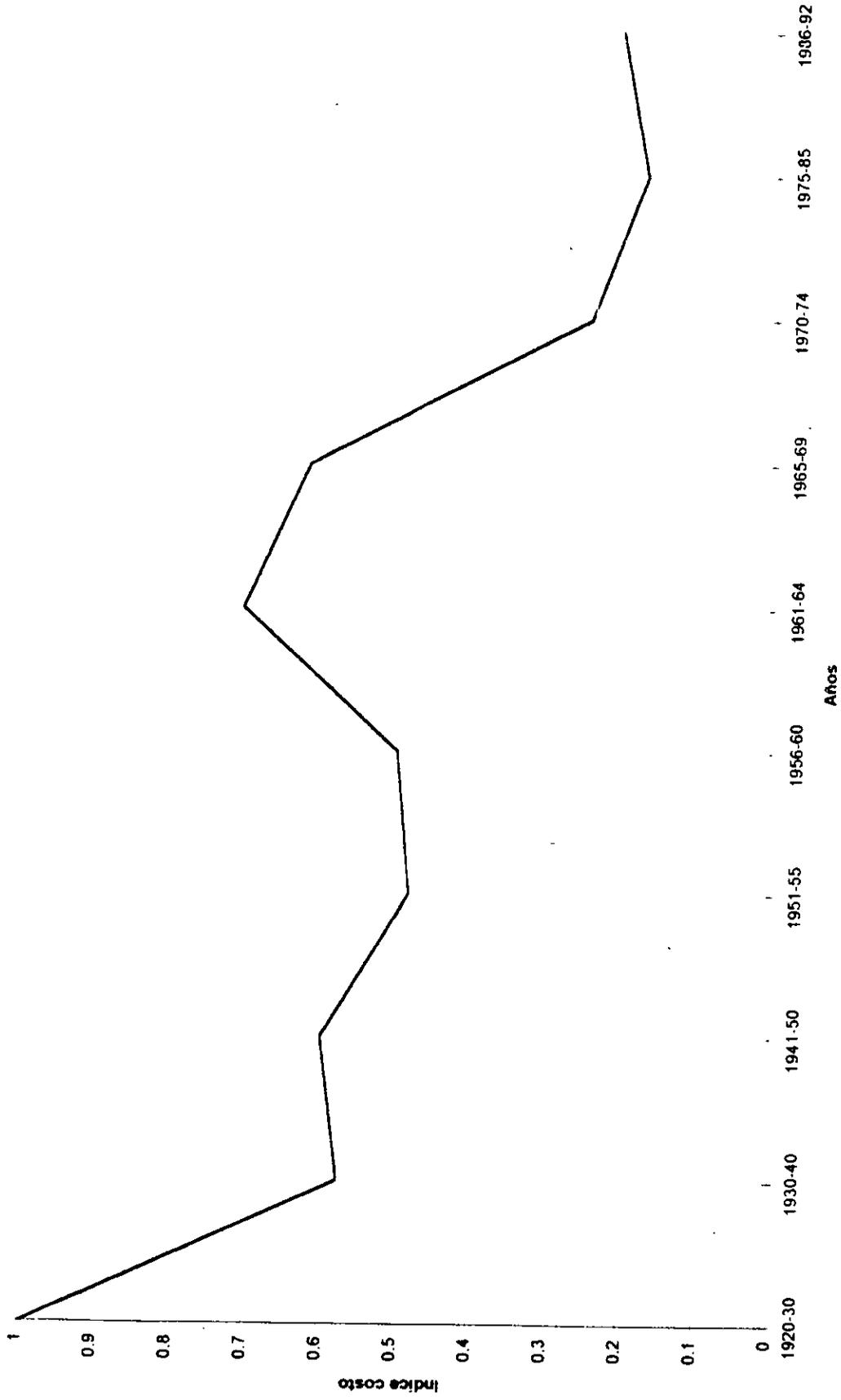


— Serie 1

Gráfico

5-4

Grafica Índice costo Mw- Proyecto Hidro-eléctico



— Serie 1

Cuadro 5-4
Número de trabajadores por máquina y productividad
de la mano de obra en los Estados Unidos

| Periodo | Num trab/maq. | Tasa de crecimiento de la productividad metal-mecánica |
|---------|---------------|---|
| 1920-30 | 3.5 | 3.4 |
| 1930-40 | 1 | 4 |
| 1941-50 | 0.79 | 1.6 |
| 1951-60 | 0.66 | 8.0 |
| 1961-70 | 0.55 | 3.5 |
| 1971-80 | 0.45 | |
| 1981-90 | | 0.9 |

Fuente: Con base en los cuadros : A5-26, R-A5-3, R-A5-8.

- iii) Los problemas de cavitación son un obstáculo para no revolucionar las turbinas con mayor intensidad. Su tratamiento se basó no sólo en conocer sus efectos a variaciones de la velocidad, sino también en estudiar las características de los fluidos y materiales.
- iv) Ante la concentración de países productores se dio una concentración de los productores nacionales para satisfacer las demandas locales, lo cual se muestra en el cuadro 5-5. También contrasta con una concentración de fabricantes principalmente occidentales que han tenido un crecimiento sostenido y en consecuencia desde principio de siglo, han adquirido paulatinamente mayor experiencia. Pocas firmas se han salido del mercado en esta época dominada por una tecnología todavía intensiva en mano de obra. Debe notarse que los que se suman a la producción lo hacen antes de que termina esta tecnología dominante en los cincuenta, incluso tres firmas japonesas han estado en el mercado desde los inicios de esta época y ahora forman consorcios de fabricantes de turbinas altamente reconocidos en el mundo como se aprecia en el cuadro A5-7 y A5-8.
- v) Las empresas productoras de turbinas, a excepción de un pequeño número, satisfacen sus demandas nacionales y luego salen y crecen verticalmente, primero, y luego horizontalmente. La participación de la producción afuera de su país de origen en general es creciente como se observa en el cuadro 5-6 que indica el promedio de todos los fabricantes más importantes de turbinas. Algunos fabricantes incursionan tempranamente, como EW, y otros, como Voith, más tardíamente. Ver cuadro de fabricantes en el anexo A5-18.

Cuadro 5-5

| Año | Indices de concentración | |
|---------|----------------------------|--|
| | Promedio de Índice Hinderf | Índice de concentración con base en mayores fabricantes de países productores. |
| 1900-30 | 0.63 | 0.139 |
| 1930-50 | 0.551 | 0.339 |
| 1951-60 | 0.469 | 0.279 |
| 1961-70 | 0.375 | 0.325 |
| 1971-80 | 0.494 | 0.32 |
| 1981-93 | 0.515 | 0.405 |

Fuente: Con base en los cuadro A5-17, A5-18, A5-19, R-A5-3,R-A5-5.

Cuadro 5-6

Promedio de la participación de fabricantes afuera del país de origen

| Periodo | Participación |
|---------|---------------|
| 1900-30 | 0.329 |
| 1930-50 | 0.41 |
| 1951-60 | 0.398 |
| 1961-70 | 0.493 |
| 1970-80 | 0.48 |
| 1981-93 | 0.505 |

Fuente: Con base en los cuadros: A5-19, A5-20, R-A53, R-A5-6

Cambios en los años sesenta, setenta y ochenta

- d) La introducción de materiales nuevos y los procesos de soldado permiten la construcción de turbinas nuevas y más grandes para explotaciones de gran tamaño. Junto con la incorporación de la soldadura, la aparición de mejores aceros y la aplicación de soldaduras a aceros inoxidable permitió un gran cambio no solo en el tamaño sino en la calidad. Así, se permite un mayor desarrollo principalmente en las explotaciones en Brasil, Turquía y Rusia. Los nuevos aceros permiten un cambio de gran importancia no sólo en la construcción de turbinas, sino en el sector metal-mecánico.
- e) Gracias al desarrollo de la ingeniería civil para los trabajos en el lugar se pudieron también aplicar diseños de máquinas más grandes de manera más fácil.
- f) Con el desarrollo de diseños y equipos de control numérico nuevos es posible, primero, construir turbinas más grandes y, posteriormente mejorar la producción elevando la Ns

reflejada en lograr mayores velocidades que a su vez se logran a través de un mejor diseño, una reducción de la cavitación y mejores materiales.

La reducción del fenómeno de la cavitación se basa principalmente en una mejor comprensión del problema: una derivación de los estudios de los fluidos y el avance en la hidrodinámica aplicada a las máquinas hidráulicas. Esto fue posible gracias a estudios hechos por los fabricantes de turbinas, y la investigación y desarrollo en mejorar el diseño de las turbinas mediante la reducción de los problemas de cavitación.¹⁷

Los procesos cambian y el diseño acapara cada vez más tiempo en contraste con los procesos de formación y maquinado que se ven reducidos tanto por las mejoras en las propias máquinas gracias al control numérico, como por la sustitución de los procesos de fundición por procesos que impliquen la unión de los materiales mediante las soldaduras. Esta es la tendencia predominante en esta etapa y es muy posible que siga.

- g) Mejores materiales en conjunción con procesos de soldadura (mejorados) permitieron mayores grados de dureza y un mejor aprovechamiento de los aceros inoxidable para contrarrestar la cavitación. Así resulta importante no sólo el desarrollo de las soldaduras mismas, sino su asociación con técnicas y métodos para soldar y reducir la oxidación lo cual ha producido logros importantes para completar la sustitución¹⁸. Además con las soldaduras no sólo se incorpora un material nuevo sino también se introduce la unión a través de ésta lo cual implica una sustitución de procesos empezando con los de fresado y taladrado y avanzando sobre la fundición. Esto ha tenido una consecuencia inmediata no sólo en el tamaño sino en permitir mayores velocidades a la vez reflejadas en un aumento en la velocidad específica.
- h) La construcción de turbinas, a través de la utilización de equipos de control numérico que a su vez también ha tenido desarrollos importantes al incorporar con mayor intensidad un hardware y un software cada vez más complejo, facilita diseños mejores que se traducen en la comprensión del problema de la cavitación y en la reducción de pérdidas por fricción. En términos prácticos la evolución del Cad/cam ha sido crucial para el aprovechamiento de los materiales, diseños y equipos nuevos.

Tendencias recientes

¹⁷ Weeg (1992). hace una buena explicación de la cavitación e hidrodinámica. Ver D-A5-1 , R-A5-1.

¹⁸ Las técnicas nuevas desde luego se asociaban a máquinas nuevas y equipos mas modernos para soldar. Así el desarrollo de las soldaduras lleva implícito el desarrollo de equipos para soldar y avances en el propio material con el que se fabrican las soldaduras.

- i) Hay un rompimiento con los procesos utilizados en los diseños de los componentes y turbinas.
- j) La interrelación entre encontrar el mejor diseño y trasladar exactamente la mejor opción a la fabricación ha sido posible por el aprovechamiento del hardware y software no sólo en diseño sino en las máquinas de control numérico más flexibles. Es decir no sólo se obtiene un diseño, óptimo sino también se le puede reproducir dado el desarrollo de las máquinas de control numérico.
- k) La producción flexible en control numérico permite bajar los costos aún más.

II Tasa y dirección de la actividad tecnológica

- i) Descripción de las variables de los equipos, procesos y materiales.

Información

Las variables que se consideran en la construcción del índice tecnométrico se basan en variables tecnológicas (X), económicas (W) y, en menor medida, naturales (C). Esta selección no es accidental. Las turbinas hidráulicas en general han sufrido transformaciones de importancia que se han generado en la misma industria y han absorbido innovaciones de otros sectores como la metal-mecánica. Por esta razón, las variables involucradas son reflejo de la evolución de las turbinas y las innovaciones plasmadas en un índice que trata de representar la trayectoria de los equipos específicamente las turbinas de tipo Francis.¹⁹ Esta evolución puede ser extensiva a los equipos utilizados en la industria metal-mecánica pero en concertación con el índice de los procesos (Yp).

El análisis que se hace se basa en información recopilada en estadísticas de empresas productoras de turbinas, revistas especializadas, estadísticas editadas por asociaciones privadas, estadísticas sobre producción de la industria metal-mecánica, entrevistas con expertos en la industria y en investigación directa de campo (ver R-A5-3) Esta información parte de principios de siglo en algunos casos, durante los años de veinte y, también antes y después de los años de cincuenta. Las fuentes de los apéndices incluyen una mayor descripción de la fuente utilizada. Los cuadros R5-1 y R5-2 muestran las variables utilizadas y describen cada una de ellas. En los apéndices correspondientes aparecen mayores detalles.

¹⁹ Aunque de hecho los cambios sufridos en este tipo de turbinas no es diferente a otros. Las innovaciones y cambios tecnológicos muy posiblemente se explotan en cualquier tipo de motor hidráulico.

Recuadro R5-1
Variables

| Variable | Tipo de variable | Característica |
|-------------------|--------------------|--------------------------------------|
| X1 | Técnica | Diseño |
| X2 | Técnica | Diseño |
| X3 | Base | Comportamiento |
| X4 | Técnica | Diseño/comportamiento |
| X5 | Técnica | Comportamiento |
| X6 | Técnica | Diseño |
| X7 | Base | Comportamiento |
| X8 | Técnica | Diseño |
| W1 | Económica | Precio |
| W2 | Económica | Precio |
| W3 | Económica | Concentración |
| W4 | Económica/regional | Concentración |
| W5 | Económica | Proteccionismo |
| W6 | Económica | Crecimiento |
| W7 | Económica | Tamaño |
| C1 | Recurso natural | Agotamiento |
| <u>Procesos</u> | | |
| X9 | Técnica | Intensidad en el diseño |
| X10 | Técnica | Intensidad en la formación |
| X11 | Técnica | Intensidad en la mecanización |
| X13 | Técnica | Intensidad en otros procesos |
| W8 | Económica | Cambio en el costo en el diseño |
| W9 | Económica | Cambio en el costo de conformado |
| W10 | Económica | Cambio en el costo de maquinado |
| W11 | Económica | Cambio en el costo de otros procesos |
| W12 | Económica | Productividad |
| W13 | Económica | Salarios y ganancias |
| W14 | Económica | Índice de costo de producción |
| <u>Materiales</u> | | |
| X14 | Técnica | Módulo de proporcionalidad |
| X15 | Técnica | Dureza |
| X16 | Técnica | Dureza |
| X17 | Técnica | Corrosión |
| X18 | Técnica | Mecanización |
| X19 | Técnica | Soldadura |
| W15 | Económica | Índice Precio |

La definición de cada variable se muestra a continuación.

Recuadro R5-2
Descripción de las variables

Equipos

X1. Componente de la altura (H) y la velocidad específica (Ns). Dado por la sumatoria de las distancias entre el origen (0,0) y (H-Ns), dada una función de regresión ajustada

$N_s=f(H)$. Ver cuadro del apéndice A5-10 y R-A5-7.

$$X_1 = \sum_i^h ((N_{s_i} - N_{s_0})^2 + (H_i - H_0)^2)^{1/2}$$

La *velocidad específica* N_s . El número específico de revoluciones permite clasificar a las máquinas hidráulicas ya que bajo un criterio de semejanza geométrica a las turbinas se les puede comparar por su velocidad específica (N_s) independientemente de su tamaño. Esta variable resulta de gran utilidad ya que permite resumir a la máquina hidráulica²⁰. Se le considera una variable de diseño ya que contiene información acerca de la potencia (P en Kw), la velocidad (n en rpm) y la altura (H en metros)²¹. $N_s = nP^{0.5}/H^{1.25}$. Desde el presente siglo la N_s ha mostrado aumentos en la velocidad específica. El análisis de las turbinas producidas por distintos fabricantes en el mundo muestra esta apreciación principalmente a grandes alturas. La gráficas del apéndice D-A5-3 describen la correlación entre altura y velocidad específica en diferentes periodos. Las curvas de regresión obtenidas (recuadro R-A5-7) muestran un alto coeficiente de correlación en cada una de ellas, con diferentes variantes pero permitiendo concluir una tendencia a aumentar la velocidad específica de las turbinas.²² Este resultado permite hacer una clasificación de las turbinas con fines metodológicos ya que en algunos periodos los incrementos de la N_s son menores.

X₂. Potencia media. Está referida a la suma de las potencias entre el total de unidades por periodos de tiempo. Permite analizar el tamaño de la explotación del recurso natural y es una variable de diseño. (ver el cuadro del apéndice A5-11 y R-A5-7). La potencia está dada en Mw y se analizaron todas las unidades mayores de 15 Mw fabricadas para sitios en todo el mundo.

X₃. Relación de tamaño. Esta calculada con base en:

$$X_3 = \left(\sum_i^h (\text{Diámetro estimado/Diámetro real}) - 1 \right) / n$$

Donde i se refiere a la turbina analizada y n al número de turbinas en un periodo determinado. El diámetro está dado en metros. Ver el apéndice A5-12 y R-A5-4.

Esta variable permite evaluar las mejoras hechas en la producción de las turbinas. Así entre menor el valor de la variable X_3 mayor la calidad de la producción. Es una variable de comportamiento.

Algunos especialistas han estudiado la relación que guarda la N_s con el diámetro de la turbina. Se ha observado que la evolución de la turbina a través de la N_s está correlacionada positivamente con el diámetro y con la eficiencia. Así a mayores valores de N_s los diámetros se han disminuido también y las eficiencias han aumentado.²³

X₄. Componente de la relación peso-potencia y la velocidad específica ($-N_s$). Producto de

²⁰El número específico de revoluciones es un resultado que se ha obtenido por parte de los fabricantes de turbinas que han hecho pruebas en laboratorios con modelos y prototipos. Los ensayos se basan en la concepción de ciertos "números" adimensionales que permiten la comparación. El número de Reynolds es uno de ellos el cual permite comparar la semejanza dinámica. Muchos ensayos, pruebas y prototipos resultan muy difíciles de llevar a cabo debido a las exigencias de los valores que deberían alcanzarse con velocidades de hasta 25000 rpm y al mismo tiempo serían muy costosos hacer pruebas completas de este tipo. Para simplificar los ensayos se parte del supuesto de que la semejanza geométrica implica una semejanza mecánica, y aunque el supuesto reconoce despreciar la viscosidad, se han obtenido resultados para el dimensionamiento de las turbinas.

²¹Otra forma de calcular la N_s es considerando el flujo (Q en m³/seg) $N_s = nQ^{0.5}/H^{1.25}$

²²Para los periodos 1960-74 y 1974-84 tanto de Siervo y Leva (1976) como Lugaresi y Massa (1987) encuentran resultados similares.

²³Pueden verse en este punto los resultados de Siervo y Leva (1976) y Lugaresi y Massa (1987) donde se analiza el tamaño de la turbina mediante relaciones entre el coeficiente de la velocidad tangencial (K_u) definido por $K_u = 3.1416D_3 n 60^{-1} (2gHn)^{-0.5}$. Donde K_u es el coeficiente de velocidad, D_3 es el diámetro de descarga de la turbina, n las revoluciones por minuto, g la aceleración por gravedad y H la altura de diseño.

la sumatoria de las distancias entre el origen (0,0) y los puntos ((Peso/Pot),(Ns)) dada una función de regresión ajustada $Ns=f(\text{Peso}/\text{Potencia})$. Ver cuadro del anexo A5-13 y R-A5-4.

$$X_4 = \sqrt{\sum_i^h (((\text{Peso}/\text{Pot})_i - (\text{Peso}/\text{Pot})_0)^2 + (N_{s_i} - N_{s_0})^2)}$$

donde el peso está dado en toneladas, la potencia en Mw .

Esta variable relaciona el peso de la turbina con la potencia. La evolución de los valores de esta variable debe reflejar no solo una correlación con la Ns sino también con un mejor diseño en la producción de la turbina y la maximización de las tolerancias. Esto implica no sólo ganancias por la reducción del peso de la turbina debido a aumentos en la Ns y la disminución del tamaño que se refleja en el diámetro, sino también en un mejor aprovechamiento del material bruto en neto.

- X₅. Disponibilidad (Como proporción). Se refiere al factor de uso de la turbina dependiente del rendimiento de la turbina y no de las condiciones hidrológicas. Está medida como proporción del número de días trabajados entre el total en un año y está calculada con base en turbinas de varios tamaños y registros de la CFE en México. Ver apéndice A5-14 y R-A5-4.
- X₆. Margen de resguardo (Como proporción). Relación entre la potencia de placa y la potencia nominal de los registros de las turbinas administradas por la CFE. Ver apéndice A5-31-1 y R-A5-4.
- X₇. Margen efectivo de potencia (Como proporción). Relación entre la potencia real y la potencia de placa con base en los registros administrados por la CFE. Ver A5-31-1 y R-A5-4.
- X₈. Eficiencia (Como proporción). Con base en manuales, normas y registros. R-A5-4.
- W₁. Precio del Kw por turbina. Se refiere al costo de la turbina con los componentes principales sin incluir el generador. Está dado como promedio en dólares americanos de 1982 por cada Kw instalado (\$T/Kw) por periodos de turbinas instaladas en México y en países de la Unión Europea. Ver apéndice A5-15 y R-A5-5.
- W₂. Precio-Kw del proyecto y construcción. Se refiere al costo del proyecto hidroeléctrico (infraestructura). Esta dado como promedio en dólares americanos de 1982 por cada Kw instalado (\$C/Kw) por periodos de proyectos hidroeléctricos en México y en los Estados Unidos. Ver el apéndice A5-16 y R-A5-5.
- W₃. Índice de concentración global de los principales productores por periodos. Calculado con base en el índice Herfindal²⁴. Ver apéndice A5-17 y R-A5-6.
- W₄. Índice de concentración por grupos de fabricantes a nivel mundial y en periodos. Calculado con base en el índice Herfindal. Todo el universo de turbinas. Ver apéndice A5-18 y R-A5-6.
- W₅. Promedio de la concentración en diferentes países incluyendo el país de origen de los principales fabricantes de turbinas por periodos. Protección de mercados internos. Ver apéndice A5-19 y R-A5-6.
- W₆. Tasa de crecimiento del promedio de la producción en Mw de turbinas instalados por los fabricantes fuera del país de origen en periodos. Ver apéndice A5-20 y R-A5-6.
- W₇. Tasa de crecimiento de los Mw en turbinas fabricados e instalados. Saturación del mercado y reposición por periodos. Esta variable mide la cobertura del mercado internacional. Ver apéndice A5-7, A5-8, R-A5-7.
- C₁. Altura promedio explotada. Agotamiento de los recurso hidrológicos y potencial del mercado. Ver apéndice A5-7 y R-A5-8.

Procesos

- X₉. Intensidad en el diseño. Mide el cambio en la participación media del tiempo para diseñar las turbinas. Ver apéndice A5-9-2 y R-A5-9.

²⁴ El índice Herfindal se calculó con base en $HI = n \sigma^2 + 1/n$. Donde n es el número de empresas y σ la varianza.

- X₁₀. Intensidad en el conformado. Mide el cambio en la participación media del tiempo para dar forma a la turbina mediante operaciones de forja, fundición, cortado, soldado, pero sin considerar arranque de viruta. Apéndice A5-9-2 y R-A5-9.
- X₁₁. Intensidad en el mecanizado. Mide el cambio en la participación media del tiempo de operaciones que implican arranque de viruta. Apéndice A5-9-2 y R-A5-9.
- X₁₂. Intensidad en otras operaciones. Mide el cambio en la participación media del tiempo para desarrollar operaciones de terminado, traslados, colocado de la turbina. Apéndices A5-9-2 y R-A5-9.
- X₁₃. Número de trabajadores por máquina. Ver R-A5-8.
- W₈. Costo de diseño. Cambio en la participación media del costo de diseño de la turbina como proporción del costo directo. Apéndice A5-9-2 y R-A5-9.
- W₉. Costo de conformado. Cambio en la participación media de operaciones de forja, corte, fundición, soldado (sin incluir operaciones con arranque de viruta) para producir la turbina como proporción del costo directo. Apéndice A5-9-2 y R-A5-9.
- W₁₀. Costo de maquinado. Cambio en la participación media del costo de operaciones con arranque de viruta para producir la turbina como proporción del costo directo. Apéndice A5-9-2 y R-A5-9.
- W₁₁. Costo de otros. Cambio en la participación de operaciones de terminado, traslado, colocado y probado como proporción del costo directo. Apéndice A5-9-2 y R-A5-9.
- W₁₂. Tasa de crecimiento de la productividad de la mano de obra. Medida por medio de la producción por trabajador de la industria metal-mecánica de los Estados Unidos. Apéndice A5-26 y R-A5-8.
- W₁₃. Salarios. Medido como proporción de los sueldos y salarios sobre el valor agregado de la industria metal-mecánica de los Estados Unidos. Apéndice A5-26 y R-A5-8.
- W₁₄. Índice costo. Medido mediante el costo de producir bienes de capital en los Estados Unidos. Apéndice R-A5-8.

Materiales

- X₁₄. Módulo de proporcionalidad del acero. Apéndice A5-9-3 y R-A5-10.
- X₁₅. Dureza. Medido por la relación del contenido de Co/Cr. Apéndice R-A5-10.
- X₁₆. Dureza. Medido por grados bridel. Apéndice R-A5-10.
- X₁₇. Corrosión. Medido por la relación de contenido Cr/Ni. Apéndice R-A5-10.
- X₁₈. Mecanibilidad. Como proporción de contenido de Pb. Apéndice R-A5-10.
- X₁₉. Soldaduras. Apéndice R-A5-10.
- W₁₅. Índice del precio del acero estructural. Con base en series de precios de acero estructural en los Estados Unidos. Apéndice A5-30 y R-A5-10.

ii) Resultados del cálculo del índice IDETEIC

El componente de la altura y la velocidad específica H-Ns (X₁) ha tenido dos puntos máximos entre los años veinte y los noventa. Los puntos máximos que se logran aparecen en los cuarenta y cincuenta y, posteriormente, en los ochenta, como se observó en la gráfica 5-1. El análisis estadístico de este componente es complejo ya que son varios y diferentes los factores determinantes en una época y en otra. Los análisis que se han hecho corresponden al periodo entre 1960 y 1985, mientras que para años anteriores no es tan fácil encontrar información de las variables que se describieron con anterioridad. Han cambiado los procesos, equipos y materiales entre una época y la otra. Sin embargo, queda una interrogante importante el valor de X₁ en los

cuarenta y cincuenta no es diferente al valor de X_1 en los ochenta. Esta situación hace ver que la evolución de las tecnologías ciertamente pueda no ser tan contundente en sus propios términos, en su sector, o en el equipo analizado mismo, como al compararlo con otros sectores involucrados en la producción de turbinas y, en general, con el sector de la industria metal-mecánica. Es decir, al comparar las dos crestas se interpretan cambios menores, pero al analizar todo los años involucrados, los cambios resultan substanciales. La hipótesis que se analiza es que la explotación de economías de escala, el desarrollo del producto de una tecnología, llegó a su máximo en los cuarenta y cincuenta, y que después fue interrumpida por cambios radicales en los procesos, equipos y materiales desde los cincuenta hasta madurar en los sesenta y ochenta que permitieron la explotación de mayores recursos naturales reflejados en turbinas de mayor tamaño.

Primero se analizaron las variables técnicas, y después las económicas. Es evidente que el número de variables analizadas es grande en comparación con los periodos estudiados. En principio debido a que la información es dispareja ya que para algunas variables se cuenta con mucha información (caso de algunas de las variables técnicas), mientras que para otras no hay datos sobre la década de los años veinte, se prefirió analizar todas las variables y ajustar los datos por periodo empezando con los años veinte y treinta. Es así que para guardar confiabilidad en el análisis estadístico se hicieron asociaciones entre grupos pequeños de variables con algún sentido técnico y económico. El nivel de confianza es del 95% y se hicieron las pruebas F y t para dar validez a los resultados obtenidos. Ver R-A5-12 para una descripción de la metodología y un análisis de resultados.

De acuerdo con la revisión bibliográfica analizada en el capítulo 3 sección III, y en capítulo 4 punto 4, el análisis de la medición de los cambios tecnológicos se basó en un aprovechamiento funcional estructural. De esta forma las variables que se analizan en los cuadros R5-1 y R5-2 son consecuencia de la evaluación y propuesta que se hizo en el capítulo anterior al incorporar la dinámica económica y el índice IDETEIC. Dada las limitaciones en la información y el interés en este capítulo por evaluar las variables más importantes en la dirección de la innovación tecnológica se procedió a hacer un análisis con base en el aprovechamiento de una función tecnoeconómica y en esta forma se hicieron estimaciones de valores estandarizados ya que lo que importaba era el peso de los parámetros de las variables de régimen. No se consideró aquí un análisis de índice de cambio tecnológicos ya que esto implicó otro manejo de la información que se salía de los objetivos y alcance de este capítulo. Por esto se prefirió dar mayor preponderancia a la información que requiere la función tecnoeconómica. Ver el cuadro R-A5-12 para una explicación metodológica.

Se hicieron diferentes regresiones para encontrar las combinaciones de variables que se ajustaran mejor al tipo de ecuación lineal.²⁵ Así con base en la eficiencia y en la tasa de la productividad de la metal mecánica se buscaron los valores de los parámetros de la ecuación:

$$Y = a_1 + a_2X_1 + a_3X_2 + a_4X_4 + \dots + a_nX_{n-1}$$

como se describió en el capítulo anterior. Ver cuadros A5-9-1, A5-9-2, A5-9-3 y el R-A5-12 para una explicación metodológica.

Equipo

Los factores que han predominado en la evolución de las turbinas han sido una constante reducción del peso y tamaño de las turbinas medido (componente peso-pot:Ns) y representado por la variable X_4 , la constante reducción de los costes del proyecto (\$C/Kw) variable W_2 , y la internacionalización de la firma (tasa de crecimiento del promedio de la producción en Mw de turbinas instalados) por la variable W_6 . Esto se puede observar en al ecuación siguiente (ver cuadro 5-10 para un resumen de relaciones al final del capítulo)

$$(1) \quad Y = -0.59 + 0.55X_4 - 0.33W_2 + 1.3W_6$$

a) La variable X_4 que es un componente que relaciona el peso de la turbina con la potencia y la Ns explica, junto con las dos variables económicas W_2 y W_6 , la dirección de la tecnología de los equipos. Aunque los equipos están representados por la turbina se desprende de aquí que en general desde el punto de vista técnico, el objetivo a alcanzar es incrementar la potencia y, al mismo tiempo, reducir el tamaño y el peso de los aparatos y las máquinas. También se debe notar el predominio de las variables económicas sobre las técnicas.

Otra forma de apreciar esta evolución es incorporar el tamaño de la turbina mediante la variable X_3 (relación de tamaño) y la disponibilidad X_5 logrando cierta consistencia. En este caso X_3 está más ligada a las variables de diseño en concordancia con la variable X_4 , mientras que X_5 representa a variables de comportamiento. La siguiente ecuación da cuenta de esto incluso a pesar de un posible sesgo de la variable X_5 ya que representa tan solo el equipo administrado por la CFE. Sin embargo, se puede decir que a pesar de que ha mejorado la disponibilidad de las

²⁵ Aunque algunas relaciones guardaron una relación no lineal esta se linealizó usando logaritmos

turbinas y que ha sido un factor que ayuda a explicar la dirección de los cambios tecnológicos no es suficientemente representativo para influir en una trayectoria tecnológica.

$$(2) \quad Y = -0.4 + 0.24X_3 + 0.33X_5 - 0.16W_7 + 1.0W_6$$

Una apreciación puramente técnica hace ver que la variable X_6 (margen de resguardo) y la X_7 (margen efectivo de potencia) tienen menos peso que el resto de las variables analizadas.

$$(3) \quad Y = 0.91 + 0.82X_3 - 1.1X_4 + 1.0X_5 - 0.6X_6$$

Se explica entonces que la contribución más importante proviene efectivamente de una constante disminución del peso y tamaño de los equipos²⁶. Esto está reflejado por la misma X_4 y por la X_3 . La disponibilidad (X_5), al igual que el tamaño X_4 , tiene casi la misma importancia, pero se trataría de una variable de comportamiento. El margen neto y el margen efectivo (X_6 y X_7) tienen menos peso en la ecuación y, en consecuencia, menos influencia en la tasa y dirección del cambio tecnológico.

b) Desde la perspectiva económica, el costo de producir un Kw considerando exclusivamente el equipo no tiene un peso importante ya que los valores de W_1 (precio-Kw por turbina: \$T/Kw) obtenidos, a pesar de ser significantes, son muy bajos. Sin embargo, el costo de Kw considerando todo el proyecto hidroeléctrico (W_2) sí tiene relevancia (\$C/Kw).

Además de las variables antes mencionadas (W_2 , W_6) el grado de concentración y/o el grado de competencia tiene un peso importante. Se puede medir la concentración de los mercados por las variables W_3 (índice de concentración global) y W_4 (concentración por grupos de fabricantes). Como se mencionara en R5-2, la diferencia estriba en que la segunda representa un grupo de firmas dominantes y, por lo tanto, el índice H debe mostrar una concentración mayor. Lo que resulta del análisis es un bajo nivel de significancia (t) en la variable W_4 y en cambio una buena en W_3 . De lo anterior se desprende que entre menor la concentración de mercados (o una tendencia a mercados más competitivos) mejoran más las condiciones para los cambios tecnológicos.

La protección de los mercados internos y la internacionalización de la firma tienen también una notable diferencia. Mientras que W_5 (promedio de la concentración en diferentes

²⁶ Esta variable X_4 supera los problemas de comparación entre diferentes turbinas asociadas a saltos específicos. En contraste la variable X_3 (relación de tamaño) podría no reflejar estas particularidades en esta forma.

países) tiene poca significancia implicando un efecto menor en la tasa y dirección de las tecnologías, el crecimiento de la firma afuera del país de origen y el enfrentarse a retos constantes ha sido una característica importante para influir en los cambios tecnológicos (variable W_6). Incluso esta última variable representa no sólo el asumir riesgos, sino también diferentes fusiones con empresas locales para sobrevivir en los mercados. Las firmas que de hecho no salieron de su país de origen tuvieron problemas para mantenerse en los mercados cada vez más competitivos. Junto con lo anterior y con la saturación de las explotaciones de saltos que en los ochenta empiezan a declinar son dos características de las firmas que arriesgaron y se internacionalizaron desde los años veinte. Las firmas que aprendieron a internacionalizarse fueron las que sobrevivieron y las que absorbieron a las que se mantuvieron en los mercados nacionales. Los cuadros A5-7, A5-8, A5-17, A5-18 del apéndice muestran la importancia de cada firma y su fusión. La ecuación siguiente incluye tan solo la variable W_6 , ya que W_5 no es representativa.²⁷

$$(4) \quad Y = 0.23 - 0.08W_2 + 0.34W_3 - 0.45W_6 - 0.1W_7$$

El crecimiento de la producción e instalación de turbinas (W_1) y la altura promedio del salto explotada (C_1) son variables que se asocian a las anteriores. Por un lado, C_1 se asocia con X_2 , la potencia promedio de facto e incluso no tiene significancia en combinación con las variables de tipo W . Por otro lado, a pesar de que W_7 tiene significancia, un análisis particularizado entre esta variable y W_2 confirma la supremacía de esta última.

De esto podría decirse que tal vez exista mayor presión por parte de la tendencia de precios bajos (W_2) que la disminución en la tasa de crecimiento de la productividad para promover innovaciones. Como se verá más adelante al analizar los procesos y los materiales, la mano de obra en sí tiene un menor impacto dada la saturación de su productividad y su sustitución por equipo más complejo donde el papel de la mano de obra especializada tiene menos peso (pero no menos importancia)²⁸, referido al monto de los salarios aunque éstos crezcan cada vez más. A pesar de que los salarios han crecido, estos no lo han hecho al mismo ritmo de como han bajado los precios de los equipos y del proyecto en general.

²⁷ De hecho la variable W_4 además de tener un bajo nivel de significancia tiene más de la mitad de peso con respecto a W_6 .

²⁸ Existe una diferencia entre el peso relativo medido en valor y la importancia técnica. En el caso de la mano de obra especializada, esta es importante en términos de la necesidad técnica que implica un proceso o equipo. Esta característica no se debe al salario que se percibe aunque sea alto. Existe una necesidad técnica que es cardinal o simplemente no existe, mientras que bajo esta necesidad cardinal el salario puede ser alto o bajo.

Procesos y materiales

Los procesos y los materiales tienen una dinámica interna y externa. La dinámica interna está dominada por el comportamiento de las variables técnicas y la externa por el de las económicas. A diferencia de los equipos, en los procesos la mayor incidencia proviene del diseño, la conformación, el mecanizado, el transporte y el terminado. Los materiales, por su parte, son más sensibles a las variables económicas.

a) La siguiente relación explica el cambio tecnológico en términos de los procesos de mecanizado (X_{11}), terminado y transporte (X_{12}), y el material de soldadura (X_{19}).

$$(5) \quad Y = 1.4 - 0.07X_4 - 0.83X_{11} - 0.29X_{12} + 0.51X_{19}$$

Se deben mencionar dos agrupamientos importantes. Por un lado, las variables X_9 , X_{10} , X_{11} , X_{12} forman un grupo de variables que representan las características de las operaciones de los procesos de los equipos. En parte el diseño (X_9) es un proceso que ha incrementado su importancia en combinación con el terminado y la transportación (X_{12}). Pero también los procesos de conformado (X_{10}) y mecanizado (X_{11}) presentan cierta confiabilidad al influir en la tasa y dirección del cambio tecnológico. Sin embargo, no hay un dominio completo en cada uno de ellos.

Por otro lado, hay otro tipo de variables, como el número de trabajadores por máquina (X_{13}), que es una medida de productividad ya que significa una reducción de las operaciones y las mejoras en las operaciones mismas. Esta variable solamente llega a tener peso en conjunto con otras variables pero no tiene la importancia que tiene la mecanización o la terminación y transportación que se relacionan con el tamaño de los equipos y la potencia que ha sido creciente.

Asimismo la importancia de las soldaduras (X_{19}) en cierta forma refleja cierto comportamiento del papel que han tenido los procesos de conformado sin arranque de viruta (X_{10}). La incorporación de las soldaduras prácticamente ha modificado los procesos de formado, pero siempre resultando en el mismo producto. Lo que ha ocurrido, y se refleja en esta ecuación, es que la disminución de las operaciones de forja, pero principalmente de fundición y de fresado, ribeteado y redoblado (representadas por X_{10}) se han ido sustituyendo por la operación de pegado a través de soldadura. El proceso de pegado ha tenido un mayor peso gracias a los materiales nuevos como la soldadura que a su vez ha evolucionado adecuándose a los tamaños

crecientes de los equipos y con esto la superación de problemas de esfuerzos, corrosión y disminuyendo la dependencia de otros procesos como el mecanizado con arranque de viruta y terminado. Así es que la importancia de las soldaduras se observa en el cambio de los procesos y en la incorporación de los ya existentes y otros nuevos.

Otros materiales como los aceros desde luego han evolucionado pero no han sido tan cruciales como las soldaduras y los procesos de mecanizado con arranque de viruta y terminado. Se puede decir incluso que la evolución que ha dominado ha sido la del tamaño y la potencia, y aunque ha sido importante la solución de problemas como la cavitación y la corrosión, éstos han sido superados por la soldadura. Aunque los adelantos en metalurgia han sido notables, en el periodo 1950-80 todavía domina la potencia, el tamaño, y el peso. Tal vez posterior en los años noventa lleguen a predominar los materiales y, en este caso, los aceros y sus aplicaciones múltiples. Las demás variables que se mencionan de hecho caracterizan a los aceros en términos de la facilidad para el mecanizado ya que existe un *trade off* entre un material que contrarreste la cavitación y la facilidad para su mecanización, la dureza etc.

Por su parte, las soldaduras han evolucionado también no sólo en resolución de problemas característicos de resistencia al aumentar el tamaño y la potencia, sino en la facilidad para soldar aceros más resistentes y con aleaciones con mayor concentración de cromo y níquel.²⁹

b) En lo que toca a los efectos de las variables económicas existe cierto predominio de variables relacionadas indirectamente con los procesos antes mencionados y de esta forma influir en forma externa. A diferencia del efecto técnico, el efecto económico es más homogéneo ya que hay una buena asociación y significancia en el conjunto de las variables de tipo W de los procesos de diseño, conformado, mecanizado, y otros (W_8, W_9, W_{10}, W_{11}). De hecho existe una tendencia decreciente en conjunto a pesar de que algunas variables, como W_8 , son crecientes. Pero aún así, las variables económicas de estos procesos no dominan con la misma intensidad que las técnicas y, en cambio, desde el punto de vista económico otras variables como la proporción de los salarios en el valor agregado (W_{13}) y el costo de producción (W_{14}) tienen en combinación con el proceso de maquinado (W_{10}), la mayor incidencia en la tasa y dirección del cambio tecnológico.

Junto con los salarios, el costo de producción incluye el precio del acero (W_{15}) que desde luego tiene un efecto por parte de los materiales sobre la forma en que cambia la tecnología. De hecho estas últimas cuatro variables $W_{12}, W_{13}, W_{14}, W_{15}$ tres correspondiendo todavía a los procesos en general (W_{12}, W_{13}, W_{14}) y una a los materiales (W_{15}), tienen un carácter

externo ya que están referidas a la industria metal-mecánica y a los aceros donde la demanda de distintos sectores es diversa y amplia. De estas variables algunas tienen un peso menor. Tanto la productividad de la mano de obra (W_{12}) como los salarios no son los determinantes ya que el primero ha tenido un crecimiento menor después de lograr crecimientos altos en los años treinta. Esto se correlaciona con el número de trabajadores por máquina que empezó a declinar en los cuarenta: ya no fue posible la sustitución tan drástica de capital por mano de obra menos calificada que se diera a fines del siglo pasado y principios de este.

En cierto sentido los salarios también han disminuido y solamente en combinación con otro grupo de variables, la W_{13} , tienen cierto peso para influir sobre la tecnología. Sin embargo, es bajo y en todo caso es el costo a la baja y los incrementos en el precio de los aceros los que más afectan la tasa y dirección de las innovaciones. Es decir, por un lado, se tiene que los salarios aunque crecientes en conjunto tienen un menor impacto reflejando una situación donde a mayor grado de especialización, mayores salarios pero cada vez resulta más atractiva la sustitución reflejada en una tendencia decreciente de la participación de los salarios en el valor agregado. Se trata de una tendencia general ya que representa a las industrias de la metal-mecánica.

Por el lado de las ganancias, no se puede afirmar que hayan aumentos considerables ya que, si bien la productividad ha crecido la tasa de crecimiento ha tenido una menor intensidad. En todo caso, los aumentos pequeños en la productividad, la menor participación de los salarios, el no crecimiento de las ganancias y el aumento de las materias primas se han reflejado en aumentos del costo en general. Lo anterior se apoya desde luego en mercados más concentrados en los años ochenta donde para sobrevivir en parte se moderaron las ganancias y en parte se disminuyeron ya que muchas firmas desaparecieron en los años ochenta y noventa o fueron absorbidas por otras. El peso de los materiales y, en especial, de los aceros de hecho contribuyó a influir de manera más determinante en la tecnología e incluso en muchos casos no sólo llevó a disminuir la cantidad de material, sino también llevó las tolerancias en los equipos a su máximo en aras de ahorrar material. Así, el precio de los aceros ha tenido una influencia importante en conjunción con el costo que ha aumentado.

La ecuación siguiente (6) representa las variables que han determinado la tasa y dirección del cambio tecnológico desde una perspectiva económica externa. Esta representa el efecto de maquinado con arranque de viruta (W_{10}) cuyo peso es importante y donde se denota una mecanización mayor de los procesos. Incluso en conjunto con las variables W_{13} , (salarios), W_{14} (índice de los costos) y W_{15} (precio del acero) sobrepasa la influencia que podría tener W_8 y

²⁹ Las soldaduras han evolucionado en parte dominadas para disminuir la oxidación y a su vez contrarrestar la fatiga. También ha evolucionado en la facilidad para soldar materiales con contenido de Cr y Ni. Sin embargo la primera ha

W_9 que en si mismas pueden tener mayor influencia que W_{11} . Sin embargo este aspecto se tratará mas adelante al discutir las variables latentes y las subtrayectorias potenciales.

$$(6) \quad Y=0.33+0.24W_{10}+0.39W_{14}+0.28W_{15}$$

Este grupo de variables es el que mejores resultados obtuvo ya que si bien se pueden incorporar otras variables como W_8 y W_{12} éstas presentaron una significancia nula y un peso reducido en sus coeficientes.

III Hacia un grupo de trayectorias dominantes

No se puede hablar de una independencia radical entre las variables técnicas y las económicas como corolario para explicar los cambios tecnológicos. Lo que si ocurre es una combinación retroalimentada entre fuerzas autónomas y fuerzas de mercado tanto para crear como para expulsar a las innovaciones. En general, las variables económicas han influido en los procesos de manera externa, es decir, las empresas productoras de equipos toman el precio de mercado de sus insumos y materias primas y tienen poca influencia sobre él. Mientras que, por otro lado, tienen un mayor control sobre las técnicas y, en consecuencia, mayores posibilidades de orientar los cambios tecnológicos. Los cambios tecnológicos pueden provenir de ambas fuerzas sólo al interior de la firma que dominan las variables técnicas mientras que en su entorno dominan las económicas. Las innovaciones pueden ser influidas por los procesos desde el punto de vista técnico aunque también pueden ser promovidas por las variables económicas.

En general, las innovaciones procedentes de las variables económicas son menores en comparación con las técnicas. Un cambio influido por las variables económicas en muy pocas ocasiones es radical ya que de otra forma puede transformar a la empresa y hasta cambiarla de giro o sector. Por esto las empresas aprovechan oportunidades que se traducen en muchos casos en desarrollos del producto, servicios, etc. Lo que se ha observado es una trayectoria de equipos, una trayectoria de procesos y materiales desde una perspectiva técnica, y una trayectoria de procesos y materiales desde una perspectiva económica. Podríamos entonces hablar de tres trayectorias vigentes y dominantes. T_1 , T_2 y T_3 .

sido una tendencia dominante ya que va directamente a resolver problemas estructurales

Cambios en la estructura productiva dados por el árbol industrial hidro-energético

- T_1 determinada por el tamaño y la potencia (X_4), los costos de atracción (W_2) y la internacionalización de la firma (W_6).

- T_2 determinada por la intensidad de los procesos de mecanizado (arranque de viruta), de terminado y transporte, y las soldaduras (X_{11} , X_{12} , X_{19}).

- T_3 determinada por los costos de mecanizado y el precio del acero (W_{10} , W_{15}).

Se debe entender que debido a que el objeto son los equipos (las turbinas), tanto los procesos como los materiales se analizan en función de éstos. De tal forma que no se obtiene un conjunto de variables técnicas y económicas para los procesos y otro conjunto de variables técnicas y económicas para los materiales, sino que se llega a un conjunto de determinantes técnicos que agrupan a los procesos y materiales y a un conjunto de determinantes económicos que agrupan a los procesos y materiales. Se ha observado que en el primer caso dominan los aspectos de proceso y en el segundo dominan los insumos y factores de producción. O sea, es más importante la reducción de tiempos de mecanizado (X_{11}) o el conformado (X_{10}) que el costo de terminado (W_{11}). Y, en el segundo caso es más importante el precio del acero (W_{15}) que las características y propiedades técnicas de los aceros a pesar de su evolución.

Estos dos grupos de variables en conjunción con la variable X_4 (componente peso-pot:Ns) referida a una tendencia latente a reducir el tamaño y a incrementar la potencia; un *trade off* entre la disminución del tamaño y del peso, pero a costa de limitar un incremento en la potencia; la variable W_2 (Precio-Kw proyecto) asociada a una presión en la reducción del costo del proyecto; y la variable W_6 referida al grado de internacionalización de la firma (implicando crecimiento de ésta y la captación de mercados nuevos, y la fusión de las empresas con empresas locales) son las que están dominando la tasa y dirección de los cambios tecnológicos. Se puede interpretar esta tasa y dirección en parte por las trayectorias dominantes de los equipos, la trayectoria técnica y económica dominantes de los procesos y los materiales.

IV Variables latentes y subtrayectorias potenciales vigentes

Lo que se describe como variable latente es la influencia de cierta variable en una trayectoria potencial vigente. La variable latente es una variable que opera con gran influencia sobre la actividad económica incluso con mucho más fuerza que otras variables. La diferencia entre la variable latente y la dominante estriba en que la latente no tiene un dominio explícito

sobre los cambios tecnológicos determinantes los cuales se encuentran dominados por un grupo de variables que aunque individualmente pudieran ser más débiles, en conjunto logran mayor armonía para imponerse como trayectoria tecnológica determinada. Por esta razón se ha incorporado el concepto de variables latentes y subtrayectorias potenciales vigentes ya que éstas últimas pueden en cualquier momento dominar a otras subtrayectorias y volverse dominantes. De hecho, las mencionadas en la sección anterior son dominantes pero pueden estar presionadas por otras trayectorias debido a la influencia de una variable latente.

a) Una variable noble. El proceso de diseño (X_9) ha sido una variable peculiar porque ha evolucionado conforme el desarrollo de la turbina, pero al mismo tiempo la evolución es en sí la variable de diseño. Un análisis pormenorizado hace ver una consistencia importante con el conformado (X_{10}) y el terminado y transporte (X_{12}). Las relaciones siguientes dan cuenta de esto.

$$(7) \quad Y = 0.15 + 0.14 X_4 + 0.59 X_9 + 0.28 X_{12}$$

$$(8) \quad Y = 0.84 + 0.14 X_4 + 0.44 X_9 + 0.56 X_{10}$$

$$(9) \quad Y = 0.3 + 0.12 X_4 + 0.43 X_9 + 0.24 X_{19}$$

El peso del diseño (X_9) se debe a desarrollos importantes a tal grado que se perfila como una variable potencial que puede llegar a dominar en el futuro. Lo anterior se ha observado desde que el diseño partió en gran medida de las experiencias de las fábricas que producen turbinas, una experiencia acumulada y en mucho basada en un conocimiento empírico acumulado. Es un caso donde el aprendizaje por prueba y error ha producido por consiguiente mejoras en las turbinas. Posteriormente la comprensión de los problemas de la mecánica de fluidos y, con esto del fenómeno de la cavitación y la aplicación de la hidrodinámica, han hecho desarrollar diseños mejores. Sin embargo, los cambios más profundos en este proceso son apenas recientes cuando la forma de diseñar cambia radicalmente. Es decir, basado en los mismos principios de la hidrodinámica se llega a diseños mejores mediante el método de los elementos finitos, en lugar de tener una o dos opciones a optimizar, las cuales se obtenían por métodos analíticos y la solución de ecuaciones, se aprovecha el uso de supercomputadoras haciendo posible ensayar muchas veces a costos relativos más bajos logrando en general mejores opciones de diseño asociadas a optimizaciones donde se superan las pérdidas por fricciones a través de un diseño mejor basado en la conformación de partituras de las principales partes de la turbina cada una de ellas maximizadas. Esto implica una cantidad de operaciones que antes simplemente era impensable y que hoy en día se traducen como una verdadera diferencia.

Con este nuevo aprovechamiento el proceso de diseño no sólo desplaza a toda una influencia metodológica basada en el cálculo infinitesimal y la solución de ecuaciones múltiples para llegar a una o dos opciones, sino que impacta en la mano de obra ya antes muy especializada y con capital humano intensivo altamente calificado. Se trata de un desplazamiento donde la actividad del especialista se supera en cantidad y calidad diferentes mediante la incorporación de programas de diseño. El uso intensivo y especializado del CAD-CAM, a su vez, demanda otra especialización en el trabajo. Así es que la sustitución no es en forma tradicional donde la mano de obra intensiva y poco especializada se sustituye por capital y mano de obra muy especializada. Aquí también se tiene una sustitución de mano de obra aunque también especializada, a diferencia de los procesos de mecanizado, y de conformado donde todavía puede haber un diferencial importante en el grado de especialización dentro de una misma trayectoria.

Las ganancias por parte de este diseño son notorias. Por el lado del producto que se obtiene, éste es mejor ya que se gana en la mejor decisión a un costo muy bajo ya que implica menor tiempo de diseño. Al mismo tiempo se puede llevar a la práctica el mejor diseño encontrado ya que el software y el hardware junto con las máquinas de control numérico hacen que se lleve a la práctica lo que se obtiene a nivel de estudio. El resultado es un producto mejor que se traduce en mejores rendimientos de eficiencia y comportamiento a un costo más bajo y en un tiempo menor.

Los efectos de este noble cambio se empiezan a dar ya que tienen un impacto en toda la rama mecánica básica e intermedia. Esto implica un abaratamiento de los productos obtenidos, dado el nivel de competitividad internacional, y una mejor calidad en todo este sector impactando hacia adelante en mayores productividades y hacia atrás en una sustitución tremenda en el diseño y la construcción de partes.

A pesar de que el proceso de diseño tiene un peso cada vez más importante en términos de los demás procesos, éste sigue bajo lo cual lo hace muy peculiar. Esta variable puede tener menos peso pero, a su vez, mucha mayor importancia aunque no lo suficientemente ponderada para fines de planeación, no tan atractiva por ser emprendida por el empresario, ni con un sentido económico. Esto último principalmente por la influencia del precio que no refleja un valor tecnológico sino de mercado. Esto se puede ver fácilmente al comparar el concepto de X_9 con W_1 . Así aunque el diseño puede pasar inadvertido, es necesario para cualquier tipo de operación a tal grado que se vuelve imprescindible. Esta noble característica hace de este tipo de proceso un común con otras que tiene cierto comportamiento donde económicamente puede

tener un nivel de importancia bajo pero, por otro, necesaria al grado de que si se omite no se lleva a cabo la producción.

b) Otro tipo de variable latente y subtrayectoria vigente son los procesos de conformado (X_{10}) donde particularmente ha habido una sustitución de la fundición, y de la unión mediante fresado, por la unión con soldadura. La incorporación de las soldaduras en los años cincuenta y su evolución a través de técnicas de soldado mejores con la invención de nuevos equipos de soldado, y la mejoría de las propias soldaduras³⁰ han hecho que los procesos de formado se transformen radicalmente durante los sesenta, setenta y ochenta. Esto ha dado como consecuencia una disminución notable en el tiempo y en el costo. Las siguientes relaciones dan cuenta del peso de esta variable.

$$(10) \quad Y=2+0.11X_4-0.77X_{10}-0.3X_{11}$$

$$(11) \quad Y=0.34+-1.14X_{10}+0.23X_{13}$$

Sin embargo, a pesar de que este proceso tiene una importancia considerable en si mismo, por si sola no ha dominado otro conjunto de procesos como el mecanizado, y el terminado y transportado. Es decir, la importancia de este proceso en máquinas hidráulicas no ha sido tan impactante en comparación con los anteriores. Probablemente exista un sesgo debido al estudio particular de turbinas y equipo, ya que en otros sectores de la metal-mecánica la importancia de este proceso si sea evidente y es posible que domine una trayectoria tecnológica basada en la conformación y con menos peso en el maquinado. Las estructuras para la construcción de infraestructura y edificios de grandes dimensiones son un buen ejemplo en el cual es muy probable que los procesos de conformado dominen el escenario tecnológico.

c) Materiales. Los materiales inciden directamente en dos procesos fundamentales Conformado y maquinado. La diferencia con las dos variables latentes arriba mencionadas es que estas pueden influir técnicamente y económicamente. De hecho lo que se observó es la influencia de incrementos en el precio del acero (W_{15}) como dominante. Sin embargo las variables X_{14-18} tambien tienen un cierto potencial

Desde el punto de vista técnico, el grupo de variables que caracterizan a los aceros X_{14-18} ha tenido un papel fundamental que estará vigente ya que las perspectivas de nuevas aleaciones y nuevos materiales son interminables. Una consecuencia que hasta cierto punto hace

que X_{14-18} sea una variable latente y en consecuencia no despliegue una trayectoria dominante ha sido el énfasis que durante los sesenta setenta y ochenta ha tenido el tamaño y la potencia. Sin embargo, si este énfasis mermara en el futuro habría mayores posibilidades para que X_{14-18} dominaría sobre W_{15} .

8 Descomposicion de un paradigma

No hay claridad en el rompimiento del paradigma en el objeto del estudio: las turbinas Francis. El paradigma de los años cincuenta, sesenta, setenta, y hasta los ochenta respecto al tamaño y la potencia indica una ruptura de la tecnológica dominada en los años veinte, treinta y cuarenta. La evidencia no es explícita porque a pesar que las turbinas tienen tamaños y potencias cada vez mayores, la velocidad específica (N_s) no ha cambiado radicalmente en todo el periodo 1920-1990 ya que el valor del componente H- N_s en los puntos máximos de estas tecnologías uno en 1920-1950 y otro en 1950-1987, aunque varió,³¹ no tiene un peso radical para explicar la irrupción del régimen tecnológico. Esto hace ver que la relación entre el paradigma tecnológico y la trayectoria tecnológica sea más compleja de interpretar.

Un análisis más cuidadoso indicaría la interrelación del grupo de variables que explican la ruptura con una tecnología. Como ciertamente se analizó en las partes 3, 4 y 5, el incremento de las potencias y del tamaño de las turbinas se inicia en los sesenta al asociarse no sólo con la explotación de mayores saltos sino con la posibilidad de explotarlos tanto desde la perspectiva del proyecto hidrológico en su conjunto, como de la producción de turbinas de grandes dimensiones. Esto es evidente y hablaría, en todo caso, de un nuevo paradigma tecnológico³². Sin embargo, la medición de la magnitud del cambio tecnológico implica una buena asociación con un conjunto de variables que hace posible este salto cualitativo. La trayectoria de los equipos no solo está dominado por el tamaño, el costo del proyecto en su conjunto y la internacionalización de la firma (X_4 , W_2 , W_6) (que en si es el equipo de los equipos del árbol industrial), sino que además esta dominado por los procesos y los materiales donde X_{11} , X_{12} , X_{19} , W_{10} , W_{15} tienen el mayor peso.

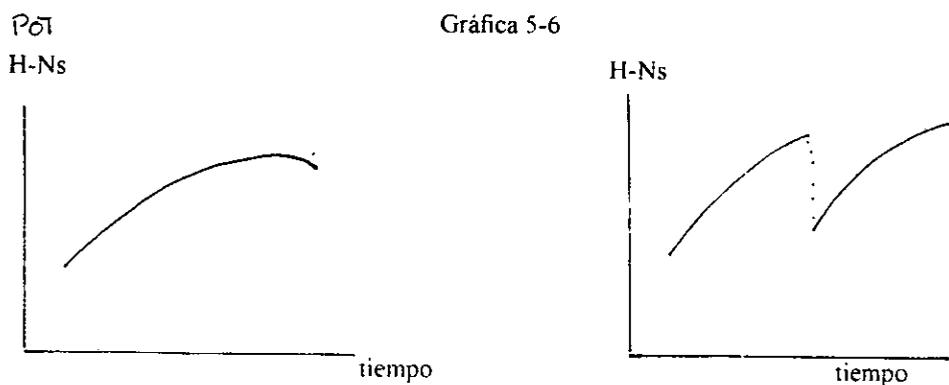
³⁰ Básicamente han consistido en la forma de aislar el material para soldar de elementos como el oxígeno, mediante la incorporación de otros elementos como el nitrógeno.

³¹ Además el valor del componente H- N_s en los noventa es menor a los puntos máximos de las dos tecnologías anteriores (cuarenta y ochenta).

³² Esta es una importante diferencia entre un paradigma científico y un paradigma tecnológico. Normalmente la literatura hace hincapié en cambios radicales cuando hay cambios en el paradigma científico. Sin embargo como se discutió en el capítulo 3, la propia tecnología puede también generar, además de cambios incrementales, cambios radicales. Este sería el caso.

Los impactos que se tienen cuando cambia el paradigma no son inmediatos en la trayectoria y aunque se contara con información para tener un análisis de por dos periodos, difícilmente se observarían cambios drásticos debido a que la difusión del nuevo paradigma tomaría un lapso de tiempo en completarse. De hecho, lo que se observa con el componente H-Ns es un incremento desde los años veinte hasta llegar a su máximo a fines de los cuarenta e incluso los cincuenta, y otro incremento desde los cincuenta hasta llegar a su máximo en los ochenta. Sin embargo, este segundo incremento del componente H-Ns no es una continuación del primero ya que a fines de los cincuenta y principios de los sesenta el componente es muy bajo en comparación con el valor máximo del H-Ns anterior. De esta forma no se puede hablar de un cambio radical en el componente a diferencia de un cambio radical en las potencias y tamaños. Entonces se tiene una diferencia en cuanto al concepto de cambio tecnológico.

Este estudio ha concebido los cambios tecnológicos como cambios en la Ns. Desde luego que también los cambios en la potencia y en los tamaños pueden implicar cambios tecnológicos. Una forma tradicional para explicar un cambio radical sería analizar el cambio radical del componente H-Ns. Sin embargo, éste ha sido creciente y es aquí la diferencia importante que se quiere explicitar. El cambio radical se atribuye al cambio en el componente H-Ns desde que baja su valor después de alcanzar un máximo, en los años cuarenta y cincuenta hasta que vuelve a subir en los ochenta. Esto hace que se incorpore un tiempo de gestación y difusión de la tecnología nueva. La gráfica 5-6 explica la diferencia entre interpretar un cambio incremental y un cambio radical que incorpore la maduración de la tecnología



La diferencia que se observa presenta una radicalidad ya que al incorporarse la tecnología nueva, el componente H-Ns cae y vuelve a aumentar superando ligeramente el anterior. Contrasta con la visión tradicional de presentar un cambio radical donde el componente H-Ns estaría aumentando automáticamente de un periodo a otro. Esto hace ver que el concepto

de paradigma tecnológico sea radical en un sentido e incremental en otro. Radical porque la tecnología cambia y el cambio se ve reflejado en la potencia de las turbinas; e incremental porque es paulativo la maximización del componente H-Ns. Esta apreciación nos lleva a una discusión intrincada acerca de la continuidad y/o discontinuidad del progreso técnico. Sin embargo, el punto a distinguir es que un cambio es radical en cuanto que tiene una tecnología diferente la cual se observa en la disminución del valor del componente H-Ns entre las dos tecnologías y no en un aumento; y es incremental en la medida en que obtiene su máximo como tecnología en boga. Esta parte del análisis se pierde debido a que en el primer caso se asocia la caída del valor del componente H-Ns con una tecnología nueva, y porque en general se piensa que una tecnología nueva lleva consigo una mejoría. Lo que se observa es que se tomó alrededor de veinte años para que el componente H-Ns alcanzara y/o superara el valor que obtenía con la tecnología desplazada.

Además de lo anterior se ve que esta diferencia se puede interpretar como un cambio (radical) debido a un cambio en el paradigma científico y un cambio (radical) debido a un cambio en el paradigma tecnológico. Desde luego en la turbinas hidráulicas se estaría discutiendo un cambio en el paradigma tecnológico explicitado por un aumento en las potencias y el tamaño de la turbina que a su vez responde a la incorporación de materiales nuevos y a cambios substanciales en los procesos que inciden en su conjunto en un aumento de la velocidad específica. Sin embargo un cambio en el paradigma científico, por su parte, implicaría cambios en la noción de la velocidad específica o cambios en los valores de los números adimensionales, lo cual no se ha dado aún.

9 La estructura productiva y los cambios tecnológicos

La estructura productiva está representada por un árbol industrial primario (Rp), y la dinámica económica representa los cambios tecnológicos. La descripción de un árbol industrial primario parte de las turbinas Francis. En este caso una simplificación mayor para representar a Rp está dada por una descomposición en sus partes de forma tal que permita que se analicen los procesos como los materiales que intervienen en la producción del equipo de turbinas. El cuadro 5-7 permite hacer el análisis de partes para cuantificar los procesos, equipos, y materiales y determinar, un Rp de turbinas. El Rp de turbinas está construido en base en la cuantificación de los procesos, equipos, y materiales utilizados en la producción de cada parte. Así la intensidad de cada uno de ellos corresponde a la suma horizontal. De la misma forma, se sigue con el supuesto de hacer de la turbina el equipo base para la producción.

El Rp que resulta esta en función de los P,E,M utilizados:

$$R_p = 3P_1D_2 + 5P_1D_3 + 5P_2C_1 + 2P_2C_2 + 5P_2C_3 + P_2C_4 + 8P_3 + 2P_4 + 9P_4 + E_1 + 2M_1 + M_2 + 2M_3 + 4M_4 + 6M_5$$

El Rp de turbinas muestra la influencia de ciertas variables en los procesos y materiales. Por un lado el diseño es un proceso utilizado en cada proceso pero varia en D₂ y D₃ correspondiendo a diferentes generaciones de método en el diseño. Los procesos de conformación están integrados por la fundición (C₁), la forja (C₂), el soldado (C₃), el cortado y el doblado (C₄). E₁ representa a los equipos utilizados en todos estos procesos y los materiales están representados por los aceros inoxidable, el carbón, los aceros duros, las estructurales y las soldaduras (M₅). El peso de cada proceso, equipo o material implica el grado de utilización de cada uno de ellos. Como se mencionó en el capítulo 4, y en esta parte, la escalarización depende

Cuadro 5-7
Análisis de partes de una turbina Francis

| | Rodete | Flecha | Carcaza | Anillo dist y alabes | Baleros cojinete s rodamiento | Chumacera | Tubería y cubiertas | Computas | Mecanismos |
|--|--------|--------|---------|----------------------|-------------------------------|-----------|---------------------|----------|------------|
| Procesos | | | | | | | | | |
| 1. Diseño | | | | | | | | | |
| D40 | | | | | | | | | |
| D60 | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| D90 | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 2. Conformado | | | | | | | | | |
| Fundición x Forja | | X | | X | X | X | | X | |
| Paileria y soldadura | X | | X | X | | | X | | X |
| cortado y doblado | | | | | | | | | X |
| Prensado | | | | | | | | | |
| 3. Arranque de viruta | | | | | | | | | |
| Tomo, tallado, mandrilado, cepillado, taladrado, fresado, aserrado, rectificado, otro. | | | | | | | | | |
| | X | X | X | X | X | X | | X | X |
| 4. Terminado | | | | | | | | | |
| Térmico | X | | | | | | | | |
| Pintado | X | | X | | | | | | |
| 5. Traslado e instalado y probado | | | | | | | | | |
| | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Materiales | | | | | | | | | |
| Acero Cr Ni | X | | | X | | | | | |
| Acero al carbón | | X | | | | | | | |
| Acero Cr | | | | | X | X | | | |
| Acero estructural | | | | | | | X | X | X |
| Soldaduras | X | | X | X | | | X | X | X |

Notas. Las partes que se consideran son las más comunes y las más importantes. Los procesos y materiales están agrupados para simplificar el cuadro. El proceso de medición y control forma parte de cada proceso y no se representa explícitamente. Los materiales son los más representativos aunque junto con los procesos existen diferencias entre los fabricantes.

La X denota una supremacía en uso frente a la x. D60 y D90 representan diferentes métodos para el diseño de las turbinas y sus partes principales; la intensidad es el número de veces que cada proceso, equipo y material coincide con la partes de la turbina consideradas; la dominancia de D90 sobre D60 no es completa porque hay algunas partes donde la técnica anterior todavía tiene un costo menor y porque es menos importante en la fabricación de algunas partes.

El rodete ha sido construido tradicionalmente por fundición y luego mecanizado con arranque de viruta. Cuando la turbina es de gran dimensión se ha incorporado la soldadura y se ha fabricado en partes para facilitar el traslado y la instalación. Su balanceo es estático y la mecanización con arranque de viruta implica muchas horas de trabajo en diferentes máquinas como aserrado, mandrilado, tallado, puñado, taladrado. Por lo regular su fabricación es de acero inoxidable y cuando no lo es lleva un tratamiento especial de pintura para evitar la oxidación. Este tratamiento es a base de hulla en la mayoría de los fabricantes.

Los aceros inoxidables han ido cambiando para combatir el fenómeno de la cavitación. Se han hecho pruebas con aceros más duros pero contrarrestando la facilidad para la fundición y para la mecanización. Por lo regular se utilizan aceros al Cr y Ni en una combinación entre 12 y 16% y que sume 24%. Mas de 23 % contrarresta la fundición, la mecanización y la soldabilidad.

La flecha es un acero al carbón forjado (por ejemplo A 668 clase D) y con un tratamiento térmico para darle resistencia a la fatiga y a las deformaciones. También representa trabajo de maquinado y en especial el tomeado y rectificado pero en menor tiempo.

Los rodamientos, los baleros, y las partes en contacto y fricción están hechos de aceros duros con una proporción alta en Cr.

Las demás partes están hechas con aceros estructurales y sólo cuando el contacto con el agua es muy alto, como en el anillo distribuidor los alabes y en algunos casos, las compuertas se fabrican con aceros inoxidables.

de la existencia o no de cada uno de los P, E, M analizados. Para evaluar una importancia mayor es necesario concebir las partes de los equipos como componentes insustituibles y necesarios para la construcción de los equipos, de esta forma la evaluación de los equipos queda determinada por sus partes. Es evidente que cuando una parte es lo suficientemente compleja, la forma más sencilla de analizarla es a través de una descomposición y valoración de sus partes. Queda entonces aquí entendido que la complejidad de un equipo o aparato está en función del número de partes y de la complejidad de cada una de ellas, la cual sucesivamente está en función del número de subpartes y su complejidad. Un equipo muy complejo, como puede ser un automóvil, o incluso un avión se puede analizar de esta manera ya que en principio es complejo por el número de partes que lo integran y porque a la vez cada parte se puede descomponer en subpartes y así sucesivamente.

El Rp hidráulico depende en gran medida del transporte y colocado, del proceso de mecanizado, y de las soldaduras. El diseño D₃, que es una variable permanente, el proceso fundido, y el soldado también tienen una importancia vigente y latente como se vio al analizar las variables latentes y las subtrayectorias tecnológicas.

Se puede entender mejor la dinámica del árbol Rp al relacionar los P, E, M que lo integran con los índices tecnoeconómicos que se muestran en el cuadro 5-8 que representa las trayectorias dominantes. Así se tiene que las variables X₄, X₁₁, X₁₂, W₁₀, W₁₄ tienen mayor

incidencia en los procesos. Mayor que la unidad implica un dominio creciente de la variable en la determinación de la ruta tecnológica, y menor que la unidad, un dominio decreciente. El signo positivo y/o negativo de los coeficientes de las variables de los índices IDETEIC (Y) implican un efecto negativo en Y y un efecto positivo en Y, es decir en uno habrá un efecto que haga que disminuya y en otro un efecto que haga que aumente. Ambos determinan la vigencia de la ruta; es decir, determinan la ruta tecnológica con fuerzas negativas al cambio, o mejor dicho contrarrestan los avances tecnológicos de otras variables mediante su presencia fuerte en el árbol industrial.

Así, por ejemplo, la variable X_{11} , (intensidad del mecanizado) afecta en forma decreciente y negativa. Las características del mecanizado tienen un fuerte peso para determinar a los procesos y al propio índice Y de manera negativa, pero también lo hace en forma decreciente. En cierta forma esto implica un fuerte obstáculo al cambio y al mismo tiempo presiona positivamente sobre el costo de mecanizado (W_{10}), o sea que cambia el proceso, la variable X_{12} tiene un dominio sobre el transporte y la instalación. De hecho esta variable no sólo une a la transportación y la colocación, sino que además incluye a operaciones de terminado. Los costos (W_{14}) también tienen un dominio creciente.

Cuadro 5-8
Tasa y dirección de las variables en régimen

| <u>Procesos</u> | X_4 + | X_{11} - | X_{12} - | W_{10} + | W_{14} + |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Diseño | >1 | | | | >1 |
| Formado | >1 | | | | >1 |
| Arranque V | >1 | <1 | | >1 | >1 |
| Terminado, Transportación, colocado | | | >1 | | >1 |
| <u>Equipo</u> | | | | | |
| | X_4 + | W_2 - | W_6 + | | |
| | ----- | ----- | ----- | | |
| Turbina Francis | >1 | <1 | >1 | | |
| <u>Materiales</u> | | | | | |
| | X_{19} + | W_{15} + | | | |
| | ----- | ----- | | | |
| Aceros | | >1 | | | |
| Soldaduras | >1 | | | | |

Se observa entonces que la trayectoria dominante integrada por las variables de régimen afectan al Rp en el sentido de que perduran en comparación con el resto o con las que no se afecta. Del Rp y de las variables de régimen con mayor peso X_{11} , W_{14} se deduce la ruta que tomaría el árbol dinámico (Rd) ya que estas variables representan a los procesos de mecanizado con una tendencia a no cambiar por una parte y con una carga positiva al cambio fomentada por el costo de la producción (W_{14}) por otra. Desde luego que también estarían afectadas por X_{12} y W_{10} (intensidad en el terminado y transporte, y el costo de maquinado) principalmente.

En lo que toca a los equipos la tendencia del Rp estaría influida por un tamaño y peso decreciente pero positivo por parte del de los equipos (X_4), por un peso decreciente y negativo de los costos asociados al proyecto (W_2) y por un peso creciente de la participación de las firmas por adquirir mercados mayores (W_6). Esta última variable representa una gran presión para mantener los equipos ya que a diferencia de los demás, su coeficiente, además de positivo, es mayor que la unidad.

Los materiales, por su parte, influyen al Rd a través de una mayor utilización de las soldaduras y a una mayor influencia del precio de los aceros.

Volviendo al Rp hidráulico, podemos deducir que tanto los procesos P_3 , como los equipos E_1 son los que predominan en el Rd (y en menor grado, todos los procesos afectados por la variable W_{14}), y por parte de los materiales, desde M_1 hasta M_3 y las soldaduras (M_6). Esto se puede observar más claramente en el cuadro 5-9 donde se han conjuntado los cuadros 5-7 y 5-8 para determinar el árbol industrial dinámico (Rd) como se describió en el capítulo 4. Se debe observar que el vector Rp no sólo incluye los P, E, M sino un coeficiente, construido a partir del análisis de partes que mide la utilización de cada uno de ellos. Además en la parte superior está el vector del índice IDETEIC donde aparecen las variables de régimen que forman las trayectorias dominantes cada una indicando no sólo el sentido sino también la intensidad, es decir positivo o negativo, y creciente o decreciente.

De esta forma se puede observar que X_{11} , W_{10} y W_6 tienen una influencia no sólo por tener coeficientes mayores al observarse en la trayectorias sino porque son altos los coeficientes del vector Rp en P_3 . Del lado derecho se ilustra el Rd donde se muestran con un círculo las variables que más influencia tienen para determinar a Rd dado el efecto de las variables de régimen como el peso de las variables de Rp.

$$Rd = P_3 + P_4 + P_5 + E_1 + M_{1,5} + M_6$$

CUADRO 5-9
Arbol industrial dinámico Rd

Indice Y

| Rp | X ₄ 0.55 + | X ₁₁ -0.83 -< | X ₁₂ -0.29 -< | X ₁₀ -0.24 + | W ₁₄ 0.39 + | W ₂ -0.33 -< | W ₆ 1.3 + | X ₁₉ 0.51 + | W ₁₅ 0.28 + | Rd |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| 3P ₁₂ | ✓ | | | | ✓ | | | | | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px;">P₃</div> <div>P₄, P₆</div> <div>E₁</div> <div>M₁₋₅</div> <div>M₆</div> </div> |
| 5P ₁₃ | ✓ | | | | ✓ | | | | | |
| 5P ₂₁ | ✓ | | | | ✓ | | | | | |
| 2P ₂₂ | ✓ | | | | ✓ | | | | | |
| 5P ₂₃ | ✓ | | | | ✓ | | | | | |
| P ₂₄ | ✓ | | | | ✓ | | | | | |
| 8P ₃ | ✓ | ✓ | | | | | | | | |
| 2P ₄ | | | ✓ | | ✓ | | | | | |
| 9P ₅ | | | | | | | | | | |
| E ₁ | | | | | | ✓ | | | | |
| 2M ₁ | | | | | | | | | | |
| M ₂ | | | | | | | | | | |
| 2M ₃ | | | | | | | | | | |
| 4M ₄ | | | | | | | | | | |
| 6M ₅ | | | | | | | | | | |

Fuente Cuadro 5-8, 5-9

Este R_d no describe la influencia de X_4 ni de W_{14} ya que su peso no es grande y no se puede saber a qué tipo de proceso afecta más. Sin embargo, en los equipos sí es importante X_4 y solamente cuando esta variable deje de ser representativa se vería un mayor efecto de los materiales desde M1-5 para dominar al R_d de manera más intensa.

10 Conclusiones

El árbol industrial primario (R_p) que se obtuvo se basó en un árbol industrial hidráulico donde el equipo de turbinas sirvió para formar un R_b y, al mismo tiempo, simplificó el análisis. Los resultados obtenidos bajo la suposición de considerar a la turbina hidráulica Francis como reflejo de los equipos en R_p son representativos dado el grado de similitud de los procesos, equipos, y materiales (P, E, M) utilizados en la producción. Así, desde la perspectiva del R_h , el árbol industrial turbina R_t es un buen reflejo del R_p siempre y cuando considere la pertinencia de diferenciar el proceso de fundición.

La construcción del R_p se basó en un análisis de partes como alternativa para representar la intensidad de los P, E, M. De hecho este aprovechamiento no sólo resuelve un problema de medición exento de valores y tiempos difíciles de evitar, sino que define al equipo como un conjunto de partes, que representan el máximo de lo divisible. La cuestión de la indivisibilidad forma el umbral entre el sentido y la utilidad de una parte o subparte donde todavía se tiene un objetivo a alcanzar. La naturaleza de la parte proviene de su funcionalidad la cual puede estar relacionada con otra parte u otro conjunto de partes³³. El conjunto de partes organizadas y acomodadas representa un equipo.

El árbol industrial dinámico se basa en la determinación de las variables de régimen que tienen y tendrán vigencia. Esta vigencia depende de la evaluación de las variables de régimen y su influencia para determinar cierto tipo de trayectoria tecnológica. La construcción del índice IDETEIC para la producción de turbinas básicamente contempla variables técnicas y económicas, donde se observa la influencia de éstas últimas desde una perspectiva externa y la de las primeras desde una perspectiva interna. Es decir, al interior de las firmas dominan las variables técnicas, y al exterior dominan las variables económicas como las determinantes del índice funcional.

³³ Desde luego que un grupo de subpartes puede tener coherencia cuando forman una parte en su conjunto.

La influencia del tamaño y la reducción del peso de la turbina, junto con los precios del proyecto con que se relaciona la turbina y la internacionalización de la firma, son los determinantes de la trayectoria tecnológica de los equipos y de las turbinas en sí. Los procesos de mecanizado, así como el incremento de los costos, son a su vez los que determinan la trayectoria de los procesos los cuales se interrelacionan con los materiales determinados por el material de soldadura y el precio de los aceros. Vemos en todo esto que la determinación de las variables de régimen no son exclusivamente técnicas o económicas sino un conjunto muy bien cohesionado y dirigido que parte de una base técnica y resuelve problemas de ganancia

Resulta un tanto simplista cuestionar si son las fuerzas de la demanda o de la oferta las que resuelven una aparición de cambios tecnológicos ya que este tipo de análisis además de que estaría sesgado por los equipos e incluso con muy severas limitaciones dada la dificultad de sustituir equipo en el corto plazo, no considera la influencia de los procesos y los materiales en sí. La ventaja de considerar un árbol industrial compuesto por P, E, M es precisamente dar cabida a los procesos y los materiales en la producción. Separarlos es simplemente ignorar las innovaciones que se generan en esta parte. Para que el resultado fuera favorable a las fuerzas de la demanda, las variables económicas deberían tener un dominio total sobre las técnicas y viceversa. Esta situación, además de ser sumamente rara, de darse no sobreviviría un periodo ni medio ni largo, ya que al tratarse de equipos éstos implican cuando menos de 5 a 10 años. Los bienes de consumo no duradero como los alimentos, estarían más en esta situación donde la influencia del mercado es más perversa que las fuerzas autónomas pero, como se vio en el capítulo 4, tampoco se podría tener un análisis de mediano y largo plazo, y mucho menos de una trayectoria. Esto, desde luego, nos lleva a otra discusión muy intrincada acerca del tipo de consumo y el cambio en las proporciones del consumo duradero, no duradero y la estructura productiva que se discute en el capítulo siguiente

Es importante diferenciar entre un paradigma tecnológico y una trayectoria tecnológica. Aquí se comprueba la no exclusividad de un paradigma científico sino la pertinencia de un paradigma tecnológico promovido por fuerzas autónomas en el seno de la técnica y de las fuerzas económicas. Esta concepción tal vez difiere en gran medida de la costumbre de separar una innovación radical de una incremental sin permitir la existencia de la influencia tecnológica y de mercado para un paradigma nuevo; más bien se le ha relegado como base para analizar tan solo los cambios incrementales.

En el caso de las turbinas, y esto puede ser extensivo a la rama metal-mecánica, el tamaño y la potencia en conjunción con la velocidad específica, la ruptura de un paradigma tecnológico resulta evidente como se mostró en la sección 8 que discute el comportamiento del

componente H-Ns. Además de la existencia de una ruptura en el paradigma, se describen las variables del régimen en boga las cuales determinan la nueva lógica de la trayectoria tecnológica que va aparejada de una evolución constituida por un grupo de variables dominantes. En el caso de las turbinas, se evidencian dos aspectos de las trayectorias tecnológicas: una anterior a los años cincuenta, y otra posterior a los años ochenta. Los índices tecnoeconómicos que se encuentran, dado el periodo estudiado reflejan la situación de la trayectoria tecnológica posterior a los sesenta.

Además de llegar a una concepción mas acabada sobre el paradigma y la trayectoria tecnológica, se incorpora el concepto de subtrayectorias y variables potenciales vigentes las cuales ayudan a entender las posibles rupturas de las variables vigentes y la posibilidad de que dominen a la trayectoria. En la producción de turbinas, esto se observa tanto en el diseño como en los materiales que aunque son importantes en las tecnologías posteriores a los años sesenta, no han dominado todavía para cambiar de trayectoria dada la decadencia de ciertas variables como los procesos de mecanizado y, principalmente, las todavía vigentes el tamaño y la potencia.

Cuadro 5-10

Relación de regresiones

| | | |
|-----|--|------------------------------|
| (1) | $Y = -0.59 + 0.55X_4 - 0.33W_2 + 1.3 W_6$ (83.5) (-3.3) (4.1) (-4.1) (10) | $r^2 = 0.98$ $Et = 0.032$ |
| (2) | $Y = -0.4 + 0.24X_3 + 0.33X_5 - 0.16W_2 + 1.0W_6$ (108) (-3.4) (5.0) (3.4) (-3.1) (9.7) | $r^2 = 0.94$ $Et = 0.025$ |
| (3) | $Y = 0.91 + 0.82X_3 - 1.1X_4 + 1.0 X_5 - 0.6X_6$ (13.9) (2.3) (4.3) (-4.4) (4.6) (-1.8) | $r^2 = 0.95$ $Et = 0.067$ |
| (4) | $Y = 0.23 - 0.08W_2 + 0.34W_3 + 0.45W_6 - 0.1W_7$ (97.4) (1.6) (-1.3) (5.1) (2.5) (-3.3) | $r^2 = 0.97$ $Et = 0.026$ |
| (5) | $Y = 1.4 - 0.07X_4 - 0.83X_{11} - 0.29X_{12} + 0.51X_{19}$ (103) (8.3) (1.03) (-4.8) (-1.4) (3.8) | $r^2 = 0.97$ $Et = 0.025$ |
| (6) | $Y = 0.33 + 0.24W_{10} + 0.39W_{14} + 0.28W_{15}$ (160) (1.2) (1.9) (3.9) (1.3) | $r^2 = 0.98$ $Et = 0.018$ |
| (7) | $Y = 0.15 + 0.14 X_4 + 0.59X_9 + 0.28X_{12}$ (56) (1.2) (1.17) (3.7) (2.3) | $r^2 = 0.94$ $Et = 0.039$ |
| (8) | $Y = 0.84 + 0.14X_4 + 0.44X_9 - 0.56X_{10}$ (77) (3.2) (1.4) (3.4) (-3.08) | $r^2 = 0.96$ $Et = 0.031$ |
| (9) | $Y = 0.3 + 0.12X_4 + 0.43X_9 + 0.24X_{19}$ (112) (3.1) (1.3) (4.2) (4.06) | $r^2 = 0.97$ $Et = 0.031$ |

Fuente: R-A5-12.

Conclusiones

Como el título del trabajo lo sugiere, la principal preocupación de esta investigación es la relación entre la estructura productiva y los cambios tecnológicos la cual tiene implicaciones para otros temas. Aunque aislarla de éstos conlleva visiones distorsionadas, ayuda a guardar mayor precisión y rigurosidad en el análisis. Así un determinado grupo de temas parece guardar una mayor relación entre sí dada la forma y el método de analizarlos y otros, a su vez, son mejor analizados por el buen sentido común aunque se alejen de cierta racionalidad.

Las interrogantes que surgen de la relación entre la estructura productiva y los cambios tecnológicos también son difíciles de agrupar porque en este ejercicio se discrimina entre una relación temática y otra. Sin embargo, se puede decir lo siguiente: a) La propia concepción de la estructura productiva es un tema que no se ha abordado explícitamente en sí. Inclusive se podrían mencionar varias concepciones, todas ellas con un rigor económico, industrial, técnico, financiero, de gestión de mercado; b) Apenas se están descubriendo los mismos cambios tecnológicos. Se está explorando la famosa caja negra de la tecnología acuñada por Nathan Rosemberg y, desde luego, esta visión difiere no sólo entre los economistas mismos, sino también, de las apreciaciones de otras ciencias; c) Las repercusiones de la tecnología sobre la estructura productiva son devastadoras al grado que una concepción más acabada de ésta última está en función de la primera; d) Los cambios tecnológicos ocupan un lugar central para entender no solo la estructura productiva sino también el crecimiento de las economías; e) Los cambios en la estructura productiva obedecen a cambios tecnológicos y las repercusiones derivadas del ritmo de crecimiento están

asociadas a tal grado que explican con cierta ventaja los ciclos largos en contraposición al problema tradicional de los precios de las materias primas. Este trabajo ha llegado a algunas conclusiones respecto a las relaciones antes mencionadas.

Hacia una concepción de la estructura productiva

La economía real parte de la producción de los bienes físicos, los cuales se pueden agrupar en bienes duraderos y bienes no duraderos. Lo que importa para el análisis es conocer el tipo y la cantidad de bienes duraderos ya que éstos son los que más importan en una situación de largo plazo¹. La estructura productiva con bienes duraderos sería mucho más compleja que una donde dominaran exclusivamente los bienes de consumo. La burda diferencia entre cada una de estas industrias es la comparación entre la producción de aviones frente a la producción de maíz de autoconsumo. La diferencia estriba en el valor agregado de cada bien.

El desarrollo del concepto de estructura productiva se basa en la introducción del modelo de árbol industrial. La necesidad de incorporar este tipo de análisis no obedece a un antojo gratuito por lo técnico. Obedece a la necesidad de representar la producción real a una actividad económica y llegar a una parte medular de la organización industrial para la producción. Explícitamente la producción concebida por los procesos, equipos, y materiales (P,E,M) determina las posibilidades tecnológicas y, por lo tanto, permite analizar a la vez no solo las rutas en cada P,E,M, sino también generar a partir de esta organización una estructura productiva en términos de P,E,M. Como se vio en el capítulo 4 y en una aplicación en el capítulo 5, es a partir de la construcción de un árbol industrial primario (Rp) como se sintetiza la estructura productiva. Es decir, la estructura productiva es reflejo de una producción de bienes que, en el caso estudiado, es de equipos y depende de la composición de los P,E,M para producir turbinas. El objetivo de llegar a una integración de los P,E,M para producir bienes es poder reflejar las bases para la producción, independientemente de cuestiones financieras y de mercado. De esta manera se requiere conocer la posibilidad de que bajo un arreglo de los P,E,M se pueda tener una producción, y no a

¹. Existe mucha bibliografía que a partir de modelos discute la composición de la producción entre bienes duraderos y de consumo. Ver, por ejemplo, a Robinson y Eatwell (1973).

posteriori cuando pueden intervenir otras fuerzas de mercado, de organización, etc. Dentro de este arreglo necesariamente se conciben las innovaciones, y hay entonces una vía para interpretar los cambios tecnológicos en cada P,E,M.

Un cambio en el Rp implica un cambio en la estructura productiva. Este cambio depende entonces de la intensidad con que cambie cualquiera de los P,E,M del Rp. Los cambios, a su vez, dependen de los cambios tecnológicos en el Rp, y es esto lo que nos permite medir la profundidad de un cambio en la estructura productiva. En el modelo de árbol industrial se han interpretado cambios en el Rp cuando las innovaciones afectan drásticamente a cada P,E,M, a diferencia de pequeños cambios en éstos. Así un cambio tecnológico de envergadura debido a un cambio en el paradigma tecnológico o de mercado desde luego tiene un efecto en los P,E,M y éste a su vez, en la estructura productiva. La forma de medir la profundidad de los cambios en P,E,M se resuelve por un análisis de partes y la sustitución parcial o completa de cada una de ellas. El análisis puede extenderse así sucesivamente a un análisis de subpartes de forma que se pueda tener un criterio para diferenciar los efectos drásticos en la estructura productiva de los efectos incrementales.

El coro del análisis de árbol industrial a través de los P,E,M puede en cierta forma combinarse con las cadenas productivas para analizar una economía. Sin embargo ambos aprovechamientos tienen objetivos diferentes. En el primero se hace un análisis transversal para explicar como ocurren las transformaciones de la materia prima mediante procesos y equipos. Es un análisis que va al interior y por lo tanto busca la relación técnica imperante. En el segundo se analiza la transformación de la materia prima mediante la diferencia del valor de las entradas y las salidas. Monitorea la transformación de la materia prima inclusive analizando la comercialización pero no explica que procesos toman parte al interior de las firmas o industrias. El primero es más un análisis transversal mientras que el segundo vertical. De hecho el crecimiento vertical de las firmas se concibe por las actividades de las firmas para llevar a cabo actividades hacia atrás y hacia adelante. A través de una desagregación específica del Rp se tendrían los mismos resultados que las cadenas sobre todo para entender ciertas industrias y firmas inclusive, ya que podría detectar la veta que una firma puede explotar horizontalmente. Sin embargo con las cadenas productivas no se podría hacer un análisis longitudinal al interior de las transformaciones.

El Rp que se encontró en la aplicación de la producción de turbinas mide la intensidad de cada uno de los P,E,M y considera el supuesto del equipo de turbinas como sustituto de los equipos para la producción de turbinas. Lo importante del resultado es poder llegar a cuantificar la importancia de cada P,E,M, no para discriminar entre ellos, sino para tener una base más consistente para medir las repercusiones en el Rp debidas a sustituciones en cada una de los P,E,M, y, por lo tanto en la estructura productiva. De tal forma que se pudo ver la importancia de ciertos procesos en transición, como el mecanizado y los materiales como las soldaduras, para el Rp que se encontró.

Los determinantes de los cambios tecnológicos y su efecto sobre la estructura productiva

En el modelo de árbol industrial se conciben diferentes cambios tecnológicos. Como lo ha sugerido la bibliografía sobre la teoría de los cambios tecnológicos, aquí también se ha seguido el mismo criterio de separar los cambios radicales de los incrementales. A su vez, el efecto en la estructura productiva está en concordancia con los cambios en la tecnología. Una parte central en el análisis ha sido la discusión de los cambios tecnológicos; por esto el modelo de árbol industrial incorpora la influencia de varias variables técnicas, económicas, institucionales y culturales. El modelo abre la posibilidad de incorporar la influencia en los P,E,M de los factores no sólo técnicos, sino también económicos. El punto central es discutir la influencia de las variables económicas, técnicas y otras, y por esto la forma de medirlas bajo un índice tecnométrico tiene una relevancia distinta a otros estudios que sólo incorporan variables tecnológicas o bien incorporan el análisis de los cambios tecnológicos de manera parcial y general, como el caso de las patentes y lo invertido en IyD como se vio en los capítulos 2 y 3. Este intento de incorporar en el modelo otras fuerzas que hacen que broten las innovaciones es atendido por el grupo de índices Y para cada proceso , equipo y material.

La dinámica tecnoeconomica no es otra cosa sino la aplicación del índice Y al índice primario para obtener el Rd. El árbol industrial dinámico refleja entonces la

permanencia y el predominio de ciertos procesos, equipos y materiales que dominan un escenario de producción en el largo plazo. De forma que los cambios en el Rp pueden ser interpretados por el Rd . A su vez el Rd, puede implicar un crecimiento o un decrecimiento del producto. En general cuando ocurre un cambio en el Rp este se refleja en el Rd y en la estructura productiva que se modifica. El crecimiento de la economía puede estar asociado a cambios drásticos en la estructura productiva los cuales, a su vez, se explican por los cambios tecnológicos. La estructura productiva se puede explicar por un cambio en la producción de equipos duraderos los cuales, a su vez, pueden estar asociados a cambios en los procesos y en los materiales. El Rd que se obtuvo parte del índice IDETEIC , el cual se forma por un dominio de las variables técnicas en los procesos tales como el mecanizado, la transportación y el terminado; por un dominio de variables económicas en los equipos, como los precios asociados al proyecto, la internacionalización de la firma, el tamaño de la producción; y por los materiales influenciados por variables de precios de los aceros y materiales nuevos como la soldadura.

En el Rd que se observó dominan los procesos de mecanizado y el carácter de las firmas en incursionar en mercados nuevos. Son estas dos variables las que mejor describen el Rd.

Evidencia de las transformaciones estructurales

La evidencia de una transformación estructural está presente a través de los procesos y los materiales. Mediante el análisis de partes se pudo analizar que efectivamente el cambio estructural se da por transformaciones si bien no en los equipos directamente, si en los procesos y los materiales utilizados en su producción. Este análisis parte, en principio, de separar dos formas de analizar los cambios tecnológicos. Por un lado las modificaciones en los procesos dan como resultado un producto nuevo y, por otro lado, los cambios en el producto final dependen de los requisitos y exigencias de los demandantes. El primero asociado a fuerzas autónomas y de oferta, y el segundo, a fuerzas de demanda.

Mediante el árbol industrial se observa muy fácilmente esta distinción ya que se separa precisamente a los procesos, los equipos y los materiales. Lo que se estudio, es decir, las turbinas como objetivo de la producción y al mismo tiempo del Rp, no se ha modificado o, mejor dicho, no se evidencian las modificaciones que han tenido las turbinas ya que no obstante que han cambiado en tamaño y en potencia, no se observa lo mismo con la velocidad específica (N_s). Sin embargo, desde la perspectiva del cambio estructural, se pueden observar estos cambios mediante el análisis de partes. Las modificaciones en el tamaño y en la N_s sólo se pueden explicar por los cambios en los procesos y en los materiales. En el primero, como se vio en la década de los sesenta, el proceso de soldado es indiscutiblemente una transformación importante. En los materiales, la propia soldadura ha hecho también posible dicha transformación de manera de contemplar un cambio en la turbina no directamente ya que, su funcionamiento no ha cambiado de manera substancial. Lo que ha cambiado tremendamente son los procesos y los materiales y que se interpretan como cambios en la estructura productiva.

Desde luego que para que existan procesos y materiales nuevos debe haber un importante desuso de procesos y materiales. En el primer caso, han disminuido los procesos de mecanización con arranque de viruta y la fundición y, en cambio, han aumentado la transportación y el diseño. También existen otros procesos como el diseño, que están latentes, y que tienen una gran importancia ya que determinan un patrón de consumo. Los materiales, por su parte, se correlación con los procesos y han influido indirectamente en un menor uso de los aceros comunes, y a cambio, se han incorporado aceros más especializados para contrarrestar diferentes fenómenos como la cavitación, la oxidación, y la propia mecanización y soldabilidad.

Los equipos, por su parte, han tenido transformaciones que han repercutido sobre la estructura productiva. En primer lugar se presenta una mayor asociación entre el diseño y los equipos de control numérico como una alternativa con gran potencial de crecimiento que se explota paulatinamente. En segundo, la producción flexible de máquinas-herramientas ha causado como consecuencia una reducción en los costos y, junto con el tipo de turbinas estándar, representa un campo fértil para la producción. Otros equipos, como el de la fundición, se han beneficiado por el lado de materiales

nuevos, los cuales, sin embargo, no han sufrido una gran transformación de estos últimos. No ocurre lo mismo con las soldaduras que han implicado la invención de equipos nuevos para su aplicación y desarrollo.

Todo lo anterior hace que la estructura productiva concebida para la producción de turbinas haya tenido transformaciones, pero más por el lado de los procesos y los materiales que de los equipos en sí.

Del árbol industrial primario de turbinas a la metal-mecánica y la economía

Pudiera resultar injustificado generalizar los efectos de los cambios en el Rp a toda la economía, más no si se consideran los siguientes aspectos.

En primer lugar, el cambio de un Rp de turbinas (Rt) a un Rp de la industria metal-mecánica no es distante. Incluso, como se mencionó en el capítulo 5, la incorporación de la turbinas como sustituto de los equipos presenta más ganancias que lo que se perdería de no analizarse de esta manera. La producción de turbinas está altamente relacionada con los P,E,M de la industria metal-mecánica de forma tal que lo que suceda en el Rp de turbinas, sucederá en el Rp de la metal mecánica. La generalización no incluye dos aspectos dignos de mencionarse. Como se vislumbró desde el principio del capítulo 5 , los procesos de fundición no están tan bien representados ya que parte del análisis que se hizo considera en conjunto todos los procesos de formado sin distinguir los de fundición, forja y soldado como los más representativos. De esta manera, una transformación en el formado tuvo como consecuencia un aumento en el soldado y una disminución en la fundición y la forja. El separar estos tres procesos tal vez podría evidenciar la importancia de cada uno de ellos y solamente tendría relevancia si cambiara los resultados obtenidos sin hacer esta separación. De hecho, entrevistas con expertos hacen creer que mientras que el soldado ha ganado terreno a costa de la fundición y la forja, en conjunto no supera los cambios de los procesos de mecanizado con arranque de viruta. Es decir, a pesar de la tendencia decreciente de este proceso, todavía predomina.

Por otro lado, un resultado posterior del análisis muestra que en la metal-mecánica cierta producción está destinada a la construcción de la infraestructura de edificios, puentes, naves industriales y de servicio, e infraestructura para la transportación donde se utiliza el proceso de soldado de manera intensa, y que todas estas industrias pertenecen, a su vez a la metal-mecánica. Estas dos situaciones hablarían a favor de una no generalización del Rp de turbinas a un Rp de la metal-mecánica. Sin embargo, habiendo considerado estos dos aspectos de manera aislada no habría porque no considerar el Rp de turbinas con el Rp de la metal-mecánica. En este sentido, la estructura productiva que se dedujo del Rp de turbinas sería la misma para la metal-mecánica y, en este sentido, los procesos, equipos y materiales dominantes mencionados anteriormente predominarían en la metal-mecánica.

La comparación del Rp de la metal-mecánica con toda la economía sólo valdría por el peso de su producción. Prácticamente esta rama tiene relaciones comerciales con todas las ramas directa e indirectamente y, en este sentido, las repercusiones con toda la economía se dan en la medida en que no cambien los productos terminales, es decir que no cambien los equipos desde la perspectiva del árbol industrial. Una generalización válida es que como las turbinas aparentemente no han cambiado, los productos terminales tampoco han cambiado y, en consecuencia, los determinantes de la estructura productiva de toda la economía no radican en los equipos sino en los procesos y los materiales. Como se observa en el Rp de turbinas e inclusive, en el Rp de la metal-mecánica, las transformaciones de los equipos son menores en comparación con los procesos y materiales. Las transformaciones que se han dado se explican mejor si entendemos cómo cambian los equipos, los cuales pueden sufrir transformaciones incrementales, radicales o desaparecer por completo. Una transformación estructural se referiría a estas dos últimos tipos de transformaciones ya que en la primera solo se consideraría el desarrollo del producto, pero en esencia sin grandes transformaciones, mientras que en la segunda, el objetivo de la existencia de cierto equipo, permanecería sin cambios, pero no la forma por la cual se produce que está en función de los cambios en los procesos y los materiales. La desaparición (tercera) podría implicar un equipo nuevo lo cual involucra un objetivo nuevo.

Considerando lo anterior se puede decir que los cambios en toda la economía se entienden mejor por la forma como se explica la estructura de Rp de la metal-mecánica en lo que atañe a los procesos y los materiales, y, en menor medida, a los equipos. Esto tiene cierta lógica ya que, por un lado, es evidente que hay equipos nuevos, es decir, equipos que hacen cosas que antes no se hacían y, en segundo, muchos equipos han tenido transformaciones siguiendo el patrón de la metal-mecánica. Sin embargo, como se puede observar en los cuadros de los apéndices A5-1 y A5-2, muchos procesos y materiales difieren de los que se utilizan en la metal-mecánica.

Lo que el Rp de la metal mecánica puede de todos modos mostrar es la articulación consistente entre el Rp y el Rd. Es decir, la forma para analizar toda la economía no implicaría el estudiar todos los procesos y materiales sino cierto tipo de procesos y materiales, y cierto tipo de equipos distintos a los producidos en la metal-mecánica.

Trayectorias tecnológicas y variables latentes

El índice IDETEIC que se obtuvo representa el conjunto de variables vigentes que determinan la trayectoria tecnológica dominante. El rompimiento de la trayectoria tecnológica se concibe en el Rp turbinas como un cambio de variables que dominan sobre otras y en consecuencia aflora otra trayectoria dominante². La relación entre paradigma tecnológico y trayectoria no es contradictoria, sino al contrario es concordante ya que en el fondo la trayectoria dominante representa a las variables que perduran durante periodos y solamente dejan de dominar un escenario tecnológico cuando son superadas por otra variable o grupo de variables que a su vez cambia la trayectoria tecnológica. El índice IDETEIC contiene a las variables dominantes y es la base para representar dinámicamente al árbol industrial Rd, es decir, determinado por las variables que tienen un dominio y donde se centra la actividad industrial. El paradigma esta referido a las variables vigentes y puede referirse al equipo, a los procesos o a los materiales. Como el objetivo del árbol industrial son los equipos es razonable ubicar el paradigma sobre estos ya que se entiende que el Rp concibe los

² Por ahora suponemos que esto es diferente a identificar a las variables vigentes y a las variables que reemplazan a las vigentes y en conjunto determinan la trayectoria tecnológica. En este caso no tiene sentido hablar de trayectorias.

P,E,M para producir equipos. El equipo que se analizó fue la producción de turbinas mediante los procesos para la producción de turbinas, la turbina misma como equipo y los materiales para producir las turbinas.

En las turbinas se puede contemplar una bifurcación y continuación del paradigma representado por el tamaño y la potencia antes de la década de los sesenta y después de los sesenta que a su vez describen las trayectorias tecnológicas antes de los sesenta y después. En sí se ha observado una acentuación persistente del tamaño y la potencia que solo en los noventa pierde intensidad. Esta acentuación es claramente explicada por los cambios en los procesos equipos y materiales que a la vez significa el paso entre el Rp y el Rd.

El modelo de árbol industrial es un marco de análisis sólido que permite analizar la diferencia entre paradigma y trayectoria muchas veces no alcanzado en algunos análisis. Desde luego que una trayectoria tecnológica podrá seguir interpretando aquellas variables que tienen un dominio constante sobre otras. Mientras que también podrá haber un grupo potencial de variables latentes con grandes posibilidades de dominar sobre el grupo vigente e imponer otra ruta o trayectoria tecnológica. Las avenidas tecnológicas son los patrones que se siguen pero siempre guiados por determinadas variables que están vigentes en el modelo. Las latentes podrán en determinado momento reemplazar a las vigentes. Esto se observa en el modelo de árbol industrial y en la aplicación que se hace con la construcción del Rp de turbinas. Por una lado se encuentra el índice Y, y el Rd y también se describen las variables latentes y, en consecuencia, las subtrayectorias tecnológicas que corresponden a estas últimas variables latentes. Se observa que la tendencia a incrementar la potencia y disminuir el tamaño y el peso de las turbinas es, entre otras, variables vigentes, mientras que el proceso de diseño y algunos materiales representan variables latentes que, a su vez, podrían explicar a una subtrayectoria tecnológica, es decir, una trayectoria tecnológica no dominante.

La evolución tecnológica de las turbinas es en sí compleja. Porque además de encontrar una variable que explique su evolución, puede ser en sí un objetivo o puede ser un resultado. El componente H-Ns mide la evolución de la turbina equipo pero no podría decirse que ha sido un paradigma. Antes de esto estarían las variables vigentes y dominantes del P,E,M.

Generación de innovaciones y cambios tecnológicos

¿ Que importancia tiene el saber si una u otra innovación incremental o radical proviene de fuerzas de la demanda o de la oferta? . En algunos casos esta cuestión depende del grado de importancia que se le dé al mercado para generar innovaciones y a una discusión iniciada por Marx, y más recientemente por Schmookler, acerca de que todas las innovaciones responden a señales de mercado. En otros depende de otras contra-argumentaciones en las cuales se disminuye el papel del mercado y se pone el énfasis en los factores acumulativos como los presentados por Rosenberg, Robinson, entre otros. La mayoría de los estudios no ha encontrado un razonamiento que favorezca la posición de Schmookler, pero tampoco se puede decir que las innovaciones provengan de la oferta. Este análisis ha optado desde el principio por ampliar las fuentes de generación de las innovaciones las cuales se reflejan en las variables de tipo técnico, económico, institucional y cultural. El problema ha crecido, pero a cambio de esto se ha adelantado en el entendimiento de conocer las fuerzas que generan una innovación ya que se rechaza una posición radical y poco flexible en un mundo donde operan muchas fuerzas que tienen influencia sobre las condiciones que propician la generación de las innovaciones.

La preocupación por no permitir otra salida, fuera de los factores del mercado o fuerzas autónomas, ha sido un impedimento para avanzar en este tema. Recientemente, después de encontrar evidencia de las grandes limitaciones del mercado para hacer generalizaciones en torno a la procedencia y generación de las innovaciones todavía se encuentran artículos y libros que difieren con buenas razones de esta posición³.

¿ Cómo contribuyen el modelo de árbol industrial y el índice IDETEIC al entendimiento de este problema? Como se sostiene en el capítulo 3, las fuerzas que impulsan a las innovaciones provienen estrictamente de razonamientos acumulados y solo algunas satisfacen ciertos requisitos para una difusión mayor. En esta difusión no sólo se encuentran las fuerzas de mercado tradicionales, como el precio, sino las mismas fuerzas autónomas, institucionales, de organización industrial, y culturales. El

³ Véase, por ejemplo, el libro reciente de T. Kealey (1996).

modelo no capta las fuerzas institucionales por falta de información, pero es un hecho conocido el fomento que se le da al sector de bienes de capital para impulsarlo⁴. El modelo capta variables económicas, técnicas y solo una cultural que representa los recursos naturales. En el índice IDETEIC y en el Rd se observa no sólo la hegemonía de ciertas variables, sino también su periodo de vigencia. No es posible entender eternamente las explicaciones tradicionales como exclusivas de las fuerzas de la demanda o de la oferta. Estas pueden dominar por un periodo y perder la hegemonía, pueden combinarse entre sí para determinar ciertas variables vigentes y después la trayectoria tecnológica. Lo que es evidente del modelo y de su aplicación es que un grupo de variables tiene vigencia y determina una u otra trayectoria. Este grupo de variables vigentes responde a una agrupación económica o técnica, pero al mismo tiempo puede dejar de tener vigencia y hegemonía.

Como se menciona en el capítulo 3 en la base existe una serie de factores que puede generar una innovación: factores científicos, tecnológicos, económicos, institucionales, culturales. Las innovaciones que generan estos factores, unilateralmente o en combinación, pueden generar una innovación incremental o radical. Los efectos en cada caso son muy diferentes. Lo que el modelo detecta, y esto se evidencia en otras comprobaciones de estudios, es que en la base la posibilidad de que el mercado genere una innovación radical es más remota dado el factor de riesgo y la capacidad limitada de una visión de largo plazo. Pero, por otro lado, a pesar de que todas las innovaciones se generan en la base por la influencia de una variable, muchas de ellas pasan por un criterio de rentabilidad. El grado de influencia del mercado y el grado de influencia de las variables autónomas para sacar las innovaciones depende del grado de jerarquía de las decisiones de la empresa. En muchos sectores ocurre que cuando la mano de obra de mercados de trabajo es especializada y los ingenieros en turno tienen un peso en las decisiones, es más fácil que se propicien innovaciones de proceso, mientras que cuando la mano de obra tiene gran movilidad gracias a los mercados competitivos, es más fácil que las fuerzas de la demanda operen sobre el desarrollo del producto y lo acoplen a las especificaciones del usuario. En esto último, la forma de perfeccionar el producto final viene dada efectivamente por las fuerzas de la demanda.

⁴ Este impulso puede venir desde una política de consumo interno y protección de mercados hasta la planeación de empresas públicas operando como centrales de costos con el objetivo de crear e impulsar este tipo de industrias en etapas iniciales, e inclusive en etapas posteriores.

pero debe existir, sin embargo, la capacidad técnica para poder ofrecer lo que el cliente demande. En esta situación, (que a veces es posible y a veces no), el grado de respuesta en todo caso depende de la forma cómo se procese esta demanda. No se debe confundir, desde luego, con mejoras en la administración y la gestión, ya que éstas tan sólo pretenden conocer mejor las preferencias del cliente, mientras que lo que aquí se discute es cómo se ve la posibilidad de satisfacer estas preferencias mediante modificaciones, o extensiones a los procesos.

Lo anterior no significa tampoco que todos los productos en el mercado hayan sido modelados con base en el cliente sino que en muchos casos el cliente no tiene en cuenta que es enorme la demanda de éste frente a lo que el proceso autónomo por sí puede desarrollar. En el ejemplo de Rp de turbinas, aparentemente se observaría un modelaje por la demanda ya que en sí cada turbina es diferente. Sin embargo, el hecho de que sea diferente obedece a las características básicas del diseño; en cambio, un aumento en la N_s proviene de varias fuerzas, entre ellas algunas del mercado, como los costos asociados al proyecto (W_2) que depende de los costos del proyecto en general, pero otras, como el tamaño y la potencia (X_4) y la internacionalización de la firma (W_6), tienen un carácter más autónomo ya que los aumentos en la N_s y en la potencia, como se vio, provinieron del lado de los procesos y los materiales, W_6 no necesariamente implica una reducción en el precio sino otros factores que la firma enfrenta para mantenerse en el mercado, que van desde tener una política de crecimiento vertical y horizontal hasta preferencias por lugares específicos de tal manera que la fuerza de la demanda no es explícitamente la que primero comanda la innovación.

Por último lo que se ha encontrado también es que el mercado sacaría las innovaciones más fáciles y menos riesgosas, lo cual no quiere decir que sean las mejores y ni siquiera las que tengan un mayor impacto. La aversión al riesgo juega aquí un papel importante donde el que opera es el empresario emprendedor fuera de las reglas y de la racionalidad del mercado. Como mirar el papel que desarrolla un empresario emprendedor. Esta es una de las discusiones actuales. Es innegable que los procedimientos operacionales en la administración conllevan a ambientes más aptos para las innovaciones y la sobrevivencia de las empresas. Los costos agenciales es un marco de análisis que ha alimentado de manera enfática el papel de la gerencia como

una fuerza que no había sido incorporada al análisis económico. Pero persiste en este aprovechamiento el recurso intensivo de acudir al mercado, a la natural.

La cuestión que nos ocupa no puede escapar del papel de la firma, y a través del modelo de árbol industrial se ha evidenciado dos aspectos. Por un lado con el aprovechamiento evolucionista como es el del árbol industrial y las trayectorias tecnológicas el análisis empresarial cae dentro de un análisis industrial. Quizá la dificultad aquí sea ubicar esta cuestión Schumpeteriana del empresario a nivel industria. Por otro lado, muchas de las explicaciones de las variables vigentes se ubican en la firma. En este contexto fuera de la cuestión de la incertidumbre y decisiones riesgosas se observa una mayor relación con los costos de transacción y las jerarquías. Las variables W_2 y W_6 son mejor entendidas bajo este aprovechamiento. Como se vera mas adelante la internacionalización de la firma, el crecimiento vertical de las empresas productoras de turbinas requirió de una interacción con firmas de otros países. Los costos asociados al proyecto guardan mas todavía una relación contractual y el papel del mercado a la natural es bajo. Este sector de la metal mecánica no ha favorecido las condiciones de la empresariedad, ni tampoco de los costos agenciales.

Concentración y tamaño

Del modelo de árbol industrial y la aplicación del Rp de turbinas no se desprende una buena asociación entre el tamaño y las innovaciones que produce. Por un lado, más que el tamaño de las empresas estudiadas lo que ha importado es su trayectoria como empresa y la perspicacia para conquistar mercados internacionales que ha hecho que adquieran la habilidad para manejar la empresa a distancia y a una forma de trabajar con empresas locales así como a una gran relación con las empresas del ramo eléctrico y de infraestructura. El tamaño de la empresa tiene poco efecto en la producción de las innovaciones y, en todo caso las empresas grandes y pequeñas se han salido del mercado y las que se han mantenido son las que han aprendido a trabajar horizontalmente con otras empresas locales, grandes y pequeñas.

Por el lado de la concentración del mercado, como se discutió en el capítulo 5, en mercados donde ha disminuido la concentración se ha encontrado mayor asociación

con los periodos de auge de las innovaciones. Una consecuencia de esto contraria a la hipótesis schumpeteriana podría ser que no necesariamente se fomentan las innovaciones en los mercados con mayor grado de monopolio.

La internacionalización de la firma

A pesar de que el tema de la internacionalización de la firma es complejo, el modelo del árbol industrial muestra el papel de los mercados nuevos como un factor crucial para mantener una posición en él. La necesidad de salir del país de origen para algunas firmas ha sido el factor que mayor importancia ha tenido para mantenerse en el mercado ya que conlleva muchos aspectos que hacen que la firma adquiera habilidades para explorar negocios nuevos, desarrolle un conocimiento y habilidades de gestión para mantenerse en situaciones, si bien no hostiles, al menos diferentes de las del país de origen. Esto hace ver que las firmas sean ellas mismas las protagonistas del mercado. Es decir las relaciones interfirma a través de los costos de transacción. La idea de la expansión de los mercados nuevos no puede ser aislada de las firmas como actores.

La internacionalización de la firma y las operaciones en que las empresas tienen que involucrarse para operar en otros países es un tema que no se discute aquí⁵. Sin embargo, sí se pueden deducir algunos resultados que desde luego tienen relación con diferentes posturas. El enfoque tradicional de la economía del crecimiento analizado por Vernon sobre el diferencial del costo entre producir en el país de origen y en el exterior no tiene relevancia. Incluso por el lado de la estandarización del producto mucho menos puede tener una aplicación.⁶

Las características de las explotaciones, el potencial de recursos de los países, y el manejo de las empresas son más importantes que la estandarización. En un mundo donde el mercado está determinado por la cantidad de recursos naturales (C1 en el modelo), por la ventaja que el productor local tiene frente a los recursos naturales de

⁵ La internacionalización de la firma es un tema muy estudiado a partir de diferentes enfoques desde la economía del crecimiento de las empresas, los aprovechamientos evolucionistas sobre la internacionalización, el análisis corporativista, el aprovechamiento gerencial y de los negocios. Ver por ejemplo, diferentes puntos de vista sobre los aprovechamientos en torno a este tema: Vernon (1966), Johanson y Wiedersheim (1975), Buclat y Casson (1979), Welch y Luostarinen (1988), Strandskov (1986), Bartlett (1981).

⁶ Sin embargo, este concepto de estandarización del producto podría tener relevancia al concebir las turbinas estandarizadas para ciertos rangos de altura y flujo, en conjunción con ciertas formas de producción flexible.

su país de origen, y la capacidad de gestión para ir a otros países, todos ellos son los que mejor contribuyen a una explicación de la cuestión de la internacionalización de las operaciones.⁷ Unas firmas salieron y tuvieron éxito y otras salieron y no tuvieron tanto éxito. Aunque el modelo da cuenta de esto no proporciona una respuesta definitiva. Por un lado, tiene poca relevancia el tamaño de la firma⁸ y por otro, sí en cambio tiene mayor relevancia otros aspectos como una mayor gestión para adaptarse a los cambios, exportaciones iniciales como antecedentes para invertir en el país destino, una selección de los recursos naturales y junto a esto una simpatía cultural del lugar, un diferencial de costos que se aprovecha dada la divisibilidad de las partes de la turbina que permite la producción de subpartes en el país destino, una adaptación a las políticas locales al subsidiarse con empresas estatales y privadas para la producción de partes a través de programas nacionales de fomento a la industria metal-mecánica y pesada, una división del trabajo que satisface los requerimientos nacionales y los objetivos de las empresas, una cooperación con las propias industrias productoras de turbinas para explotar grandes recursos naturales y, en consecuencia, un intercambio tecnológico, y un conocimiento mayor dado por la inversión en investigación y desarrollo.

Como se observa no hay una lógica única que explique las operaciones internacionales con una sola teoría ya que de lo anterior se desprenden diferentes hechos que son retomados por otros modelos como los evolucionistas, los costos de transacción y las jerarquías, la organización empresarial y gestión, y los de la economía de localización.

Un aspecto que conviene resaltar es que durante el periodo de los ochenta y los noventa la demanda se ve severamente constreñida dado el creciente agotamiento de los recursos naturales, aunque también existe un mercado creciente de reposición del equipo instalado en los años cuarenta, cincuenta y sesenta que no se da abasto. Sin embargo, la tendencia reciente es una mayor disputa por los mercados o bien una intensificación de las relaciones contractuales. Ante esto toman mayor relevancia

⁷ Del modelo se desprende varios grupos de empresas, pero por ahora importa considerar un grupo que tiene una vocación natural por explotar recursos vastos, como los de los Estados Unidos, y un grupo de empresas que no tiene recursos naturales que explotar, pero tiene el conocimiento de cómo producir equipos. Las firmas norteamericanas tuvieron un control sobre los recursos naturales de su país y no desarrollan la capacidad de gestión de las firmas que tienen que conquistar los mercados. Esto lo muestra el modelo teniendo como base el peso cada vez menos importante de los fabricantes norteamericanos que no logran competir cuando la tasa de explotación de los recursos naturales de su país empieza a declinar y al final son absorbidos por firmas que desde el inicio (principios de siglo) produjeron turbinas para la explotación de los recursos naturales fuera de su país de origen. Esto se muestra no sólo por los índices de concentración altos durante los años cuarenta y sesenta, sino por la participación en la producción mundial decreciente.

⁸ La referencia no es desde luego a N_i donde tiene un peso importante para explicar la trayectoria tecnológica del R_d .

nuevas herramientas y estrategias para competir las cuales van desde socios en países donde se explotan los recursos, una vanguardia tecnológica, precios bajos, la influencia de otras firmas en los proyectos, colaboraciones con firmas del sector eléctrico, gran desarrollo de la gestión para adaptarse más fácilmente a los cambios, y hasta fusiones con empresas en forma horizontal aprovechando sinergías administrativas, de diseño, de investigación y desarrollo.⁹

Ciclos de largo plazo y la estructura productiva.

El punto central que se ha analizado es que un cambio en la estructura productiva está comandado por cambios en la producción de bienes terminales (equipos en el modelo) . La asociación con la explicación de los ciclos de largo plazo favorece la hipótesis de que un cambio en la estructura productiva tiene efectos perversos sobre el crecimiento y el motivo más importante es la asociación entre la sustitución de equipos terminales.

Como se analizó, la asociación con la estructura productiva proviene de analizar la forma como cambia ésta y se transforma por las innovaciones tanto en los equipos mismos como en los procesos y los materiales. Los cambios en los procesos y los materiales, como se ejemplificó con el Rp de turbinas y el índice Y, afectan la estructura productiva ya que modifican sus partes a través de severas modificaciones en los procesos y los materiales. Estas modificaciones son las que se tomarían en cuenta si por ciclo largo se entendiera tan solo la producción de turbinas o incluso la industria metal-mecánica. De esta manera un objetivo en sí es entender los efectos en el Rp de turbinas reflejados en el ciclo y las modificaciones que conlleva. Una forma de describir lo que representa el ciclo largo sería entonces partir de las modificaciones en la estructura productiva y, con esto, en el consumo y el empleo.

⁹ Esto último se observa en algunas empresas que han madurado más una estrategia horizontal y han tenido mayor capacidad para absorber a empresas pequeñas que no han crecido horizontalmente. La empresa Voigt, por ejemplo ha desarrollado un crecimiento horizontal y ha explotado enormemente las inversiones en investigación y desarrollo no sólo en la producción de turbinas, sino en tuberías pesadas, trenes de laminados, maquinaria de papel, maquinaria de impresión de gran tamaño, ejes de trenes y piezas de transporte ferroviario y marítimo de grandes dimensiones.

A pesar de que el Rp de turbinas da una explicación de un supuesto ciclo de largo plazo, su peso en la actividad económica total es cada vez más bajo e incluso considerando el de la metal-mecánica, no es tan diferente. Sin embargo, a pesar de tener un peso bajo con respecto a la totalidad de la producción se mantiene este sector por ser todavía una base para la producción. Hoy se observa en las economías industrializadas y en proceso que las manufacturas en general pierden peso y son los servicios y el sector financiero los que tienen no sólo un crecimiento respetable, sino que ocupan cada vez más una mayor proporción. Entonces aunque el Rp de turbinas no refleje la economía, si puede orientar la forma cómo se modifican los P,E,M de los servicios y en esta forma puede contribuir a tener una explicación más precisa sobre las variables que formarían el Rp de servicios, el índice IDETEIC y el Rd.

El paso de Rp a Rd de los servicios tiene transformaciones radicales. Los P,E,M del Rd son los que se modifican pero lo que realmente representa un gran cambio son los procesos del Rp de los servicios. Inclusive se puede decir que los materiales y los equipos son representativos de transformaciones de la estructura productiva moderada dado el cambio en el consumo que ellos representan al sustituir a otros equipos y materiales. Sin embargo un cambio en los procesos de los servicios representa en sí el un cambio muy substancial ya que es a la vez el servicio final y el proceso intermedio.

Cambios tecnológicos avance o retroceso.

Este análisis no puede estar aislado del impacto que se tiene al concebir los cambios tecnológicos en términos de rendimiento del equipo y en términos de los procesos y materiales. Tradicionalmente se conciben cambios tecnológicos derivados de desarrollos de proceso y del producto. Se puede tener primeramente un proceso y un producto donde varíe el proceso y se obtenga el mismo producto pero en mayor cantidad o bien a un menor costo. Este es el caso mas tradicional pero aun aquí hay ciertas dificultades. Las dificultades se derivan del supuesto de que un cambio en los procesos implica una mejoría en la producción. Simplemente no se concibe un cambio en el proceso sin repercusión en el producto final y mucho menos un retroceso. Esto en parte ocurre porque las mediciones son muy globales donde no se aprecian las tecnologías que van en otro sentido, diferente a lo esperado. Lo mas importante es

que hay tecnologías arrastradas por otro grupo de tecnologías que sobreviven no por ser mejores que las anteriores sino que están en una dinámica a expensas de otras dominantes. Esto tiene desde luego implicaciones sobre el empleo y la distribución del ingreso ya que una tecnología en si misma puede ser mejor valuada desde el punto de vista del empleo, distribución o en términos del equipo en si mismo, pero puede ser pésima o simplemente no pueda coexistir con una tecnología dominante. El caso de la variables W_1 y W_2 puede ser el caso.

Cuando el producto cambia pero no cambia el proceso, o cambian ambos las dificultades para analizarlo son mayores ya que incluye además de la situación anterior modificaciones en el producto que afectan diferente hacia atrás y hacia adelante en la cadena productiva. Primero cuando no cambia el proceso con el aprovechamiento neoclásico es muy difícil de evaluar los cambios. Sin embargo el hecho de concebir un cambio tecnológico en el producto (que puede ser los equipos o los materiales) implica abandonar parte del análisis tradicional. En el caso estudiado el componente H-Ns es precisamente una variable que mide la evolución de la turbina en sus propios términos alejado de la productividad del equipo. Aunque en el análisis se observa una disminución del precio del kw/maquina esta no se asocia a un aumento del componente H-Ns.

En el segundo caso cuando si cambia el proceso y cambia el producto la dificultad es saber cual tiene mayor peso; es decir por la vía de cambios en los procesos sin repercusión en el producto o por la vía de modificaciones en el producto. O sea incluye cualquiera de las dos situaciones antes mencionadas.

Otros estudios se han enfocado a evaluar los flujos tecnológicos intersectoriales para analizar en contenido de cambio tecnológico en los materiales, partes y equipos. El análisis que se hace a pesar de reconocer un cambio en el equipo mismo a través de mejoras en los materiales o a través de la incorporación de partes electrónicas (por ejemplo como caso ya muy común) mediante valuando lo invertido en I y D, no analiza las operaciones intra-procesos. A diferencia de este planteamiento el árbol industrial (R_p) abre la posibilidad de analizar los cambios tecnológicos en sus componente básicos (es decir en los procesos equipos y materiales) a través de factores que afectan la innovaciones desde los tecnológicos, económicos y recursos naturales. De esta forma además de evaluar el llamado componente *embodied*

proporciona una base para evaluar los cambios en los procesos, en los materiales y en los equipos no solo mediante variables económicas sino técnicas.

De lo anterior se desprende que mientras que el análisis convencional evalúa cambios en la productividad de los factores omite cambios mismo en los equipos, proceso y materiales y mientras que el análisis de flujos tecnológicos intersectoriales incorpora el cambio tecnológico en la materia prima y en los equipos se falla al hacer una evaluación completa ya que el primero no considera cambios tecnológicos en sus propios términos y el segundo no considera cambios en las operaciones que se dan en los procesos.

En todo esto se observa un cambio en las apreciaciones económicas sobre los cambios tecnológicos. Es decir a pesar de que se ha avanzado en la comprensión de los cambios tecnológicos en si mismos y en una evaluación económica¹⁰, ahora nos enfrentamos a las tecnologías inmersas en grupos. Ya no basta analizar a las tecnologías aisladamente porque aunque su estudio arrojara resultados concretos tanto desde el punto de vista técnico como económico serian análisis unilaterales ya que el grupo tecnológico dominante anularía el efecto individual. De la misma manera analizar a las tecnologías unilateralmente para objetivos de distribución del ingreso y de empleo sería muy limitado.¹¹ La enseñanza de analizar los cambios tecnológicos a través de árbol industrial y la medición del avance tecnológico es que en presencia de revoluciones científicas y tecnológicas como las acarreadas por electrónica, la informática, nuevos materiales etc, la globalización de los mercados, y un cambio de papel de los Estados, necesariamente se requiere conocer los impactos de los cambios tecnológicos en las estructuras productivas y este impacto puede ser dilucidado al menos primariamente mediante un aprovechamiento mas estructural.

¹⁰ A pesar de que la obsolescencia técnica y económica ha tenido un lugar muy central en el análisis económico a través de la discusión del capital

¹¹ En este parte los trabajos de A Sen son relevantes (1969) así como estudios de la selección de la tecnología en países en desarrollo y la selección de tecnologías apropiadas. Steward (1983), Giral (1990), Gomulka (1984,90), Pack (1993), Barro y Sala (1995).



Estructura productiva y
cambios tecnológicos: un
análisis de la industria hidro-
energética

Apéndices

222

Apéndices

| | | |
|---------------------------|--|-----|
| Capítulo 2 | | 226 |
| Cuadros | | |
| Cuadro A2-1 | Tasas de crecimiento de la productividad en diferentes países (1880-1959). | 227 |
| Cuadro A2-2 | Tasas decrecimiento de la productividad en diferentes países (1950-59 y 1960-75) | 228 |
| Cuadro A2-4 | Tasa de crecimiento de la productividad por sectores en EUA | 229 |
| Cuadro A2-7 | Tasa decrecimiento de la productividad por sectores en México 1960-1975 | 230 |
| Cuadro A2-8 | Productividad del trabajo por sectores en México 1960-1975 | 231 |
| Cuadro A2-9 | Crecimiento de la productividad en México 1982-1990 | 232 |
| | | |
| Capítulo 3 | | 233 |
| Diagramas | | |
| Diagrama D-A3-1-a.b.c.d.e | Modelos representativos de innovaciones | 234 |
| Diagrama D-A3-3 | Fuentes de las innovaciones y su impacto | 237 |
| Diagrama D-A3-4.a.b.c | Masa de conocimiento científico y tecnológico | 238 |
| Diagrama D-A3-5 | Algunas relaciones intersectoriales | 241 |
| Diagrama D-A3-6.a.b.c.d | Medición del cambio tecnológico | 242 |
| Cuadros | | 243 |
| Cuadro A3-1 | Trayectorias tecnológicas básicas de la empresa | 244 |
| | | |
| Capítulo 4 | | 245 |
| Diagramas | | |
| Diagrama D-A4-1.a.b | Superficie del estado del arte de la tecnología | 246 |
| Diagrama D-A4-2 | Topografía discriminatoria de la evolución tecnológica | 247 |
| | | |
| Capítulo 5 | | 248 |
| Cuadros | | |
| Cuadro A5-1 | Componentes iniciales | 249 |
| Cuadro A5-2 | Partes Generador turbina | 250 |
| Cuadro A5-3 | Procesos | 251 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Cuadro A5-4 | Equipos | 254 |
| Cuadro A5-5 | Algunos equipos específicos | 256 |
| Cuadro A5-6 | Materiales | 259 |
| Cuadro A5-7-1 | Fabricantes de turbinas por grupos | 260 |
| Cuadro A5-7-1 | Fabricantes de turbinas 1900-1992 | 262 |
| Cuadro A5-7-2 | Fabricantes de turbinas Por ciento de Mw instalados | 265 |
| Cuadro A5-7-3 | Participación de Mw instalados por grupos | 268 |
| Cuadro A5-8-3 | Participación de Mw instalados por país | 269 |
| Cuadro A5-9-1 | Variables normalizadas para índice equipo | 271 |
| Cuadro A5-9-2 | Variables normalizadas para índice proceso | 272 |
| Cuadro A5-9-3 | Variables normalizadas para índice materiales. | 273 |
| Cuadro A5-10-1 | Valor del Componente H:Ns | 274 |
| Cuadro A5-11-1 | Potencia media en Kw de turbinas fabricadas | 275 |
| Cuadro A5-12-1 | Dimensiones y peso de turbinas en México | 276 |
| Cuadro A5-13-1 | Peso, Altura, y velocidad específica (peso,H, Ns) | 277 |
| Cuadro A5-13-2 | Valor del Componente Ton/W:Ns | 278 |
| Cuadro A5-14- | Disponibilidad | 279 |
| Cuadro A5-15-1 | Costo de Mw turbina fabricada | 280 |
| Cuadro A5-16-1 | Costo Mw proyecto hidroeléctrico | 281 |
| Cuadro A5-17 | Participación de los Mw instalados por los principales fabricantes | 282 |
| Cuadro A5-18 | Participación de los fabricantes de turbinas en el total | 283 |
| Cuadro A5-19 | Mw instalados en el país por fabricantes nacionales e internacionales | 284 |
| Cuadro A5-20 | Participación de los Mw instalados por los fabricantes fuera de su país de origen | 300 |
| Cuadro A5-22-1 | Altura promedio explotada | 304 |
| Cuadro A5-26-1 | Salarios y valor agregado en EUA | 305 |
| Cuadro A5-26-2 | Productividad y salarios | 306 |
| Cuadro A5-30-1 | Índice precios del acero en EUA | 307 |
| Cuadro A5-30-2 | Índice de precios en EUA | 309 |
| Cuadro A5-31-1 | Margen de resguardo | 310 |
| Cuadro A5-42-2 | Parámetros de la función $N_s=f(H)$ | 311 |
| Cuadro A5-42-3 | Estimación del Componente H-Ns | 312 |
| Diagramas | | |
| Diagrama D-A5-1 | Turbina Francis | 313 |
| Diagrama D-A5-2 | Aplicación de rangos de las turbinas hidráulicas | 315 |
| Diagrama D-A5-3 | Curvas $N_s=f(H)$ | 316 |
| Diagrama D-A5-5-1 | Turbina Francis | 317 |
| Recuadros | | |
| R-A5-1 | Recuadro de datos técnicos de la turbina Francis | 318 |
| R-A5-3 | Fuentes de Información | 325 |
| R-A5-4 | Información Para tamaño, peso, disponibilidad, eficiencia | 327 |
| R-A5-5 | Costo de Mw turbina y costo de Mw proyecto | 329 |
| R-A5-6 | Información de concentración y mercados locales | 330 |

| | | |
|---------|---|-----|
| | e internacionales | |
| R-A5-7 | Información par al estimación de la velocidad específica. potencia y altura | 331 |
| R-A5-8 | Información para salarios. productividad y costos | 333 |
| R-A5-9 | Información para procesos | 334 |
| R-A5-10 | Información para los materiales | 336 |
| R-A5-11 | Información para el Arbol Industrial Primario Rp | 339 |
| R-A5-12 | Información para la estimación de los índices tecno-económicos. nota metodologica. relacion de regresiones | 340 |



Apéndice del Capítulo 2

Cuadro A2-1
Tasas de crecimiento
Producto Nacional Neto por año trabajado

| País | Año base | a 1959 | 1950-1959 | Hora de manufactura 1960-1975 |
|----------------|----------|--------|-----------|----------------------------------|
| Alemania | 1853 | 1.5 | 4.5 | 5.7 |
| Bélgica | - | n.d. | n.d. | 7.0 |
| Canadá | 1872 | 1.7 | 2.0 | 4.0 |
| Dinamarca | 1872 | 1.6 | 1.8 | 7.2 |
| Estados Unidos | 1871 | 2.0 | 2.2 | 2.7 |
| Francia | 1855 | 1.5 | 3.6 | 5.6 |
| Holanda | 1900 | 1.1 | 3.4 | 7.1 |
| Italia | 1863 | 1.2 | 4.7 | 6.2 |
| Japón | 1880 | 2.9 | 6.1 | 9.7 |
| Noruega | 1865 | 1.6 | 3.1 | n.d. |
| Reino unido | 1857 | 1.2 | n.d. | 3.8 |
| Suecia | 1863 | 2.1 | 2.8 | 6.6 |
| Suiza | - | n.d. | n.d. | 5.1 |

Fuente: Citado por Kendrick, (varias fuentes), 1980

Cuadro A-2-2
Tasas de crecimiento
(1970-1975)

| País | Costos unitarios de trabajo | | |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | Producción por hora | Compensación promedio por hora | Moneda nacional U.S. dólar |
| Alemania | 5.4 | 13.3 | 7.5 |
| Bélgica | 7.6 | 16.9 | 8.7 |
| Canadá | 2.7 | 10.0 | 7.1 |
| Dinamarca | 6.8 | 15.5 | 8.1 |
| Estados Unidos | 1.8 | 8.0 | 6.1 |
| Francia | 3.4 | 15.1 | 11.4 |
| Holanda | 5.8 | 16.0 | 9.7 |
| Italia | 6.0 | 22.1 | 15.2 |
| Japón | 5.4 | 20.7 | 14.5 |
| Reino unido | 3.1 | 16.4 | 12.9 |
| Suecia | 5.0 | 14.1 | 8.7 |
| Suiza | 3.5 | 11.9 | 8.2 |

Fuente: Citado por Kendrick, (U.S. Department of Labour, Bureau of Labour Statistics).

Tasas de crecimiento de la productividad en la economía de los Estados Unidos por sectores

| | 1889-1919 | 1919-1948 | 1948-1969 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Factor de productividad total | 1.3 | 2.0 | 2.3 |
| Productividad por hora | 2.0 | 2.4 | 3.2 |
| Producción por hora ponderada (deflacionada) | 1.6 | 2.1 | 2.9 |
| Por sectores | | | |
| Agricultura | 0.5 | 2.0 | 5.8 |
| Industria | 1.5 | 2.9 | 3.0 |
| Manufactura | 1.1 | 2.9 | 2.7 |
| Minas | 1.9 | 2.9 | 4.2 |
| Construcción | 1.0 | 0.4 | 1.0 |
| Comunicación y servicios | 3.4 | 3.8 | 5.5 |
| Transporte | 2.4 | 4.3 | 3.4 |
| Servicios | 1.7 | 1.6 | 1.8 |
| Comercio | 1.0 | 1.7 | 2.5 |
| Finanzas | 2.2 | 1.4 | 1.6 |
| Otros | 2.2 | 1.8 | 1.0 |

Fuente: Kendrick, 1980 (1969)

Cuadro A2-7

**Tasa de crecimiento de la productividad de la industria de manufacturas de México
períodos 1960, 1965, 1975**

| | Tasas de crecimiento | | | |
|---|----------------------|------|-------|-------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) |
| Total industria manufacturera | 4.21 | 2.42 | 2.74 | 3.33 |
| Alimentos | 4.14 | 0.58 | 0.01 | 0.39 |
| Bebidas | 3.93 | 3.86 | 4.00 | 3.84 |
| Tabaco | 4.14 | 4.14 | 2.89 | 1.87 |
| Textil y vestido | 2.58 | 1.58 | 6.29 | 6.16 |
| Madera y derivados | 7.12 | 5.45 | 1.92 | 1.33 |
| Papel | 4.34 | 4.34 | 3.64 | 5.40 |
| Editorial | 2.56 | 0.77 | 3.93 | 4.22 |
| Cuero | 3.86 | 3.50 | 2.74 | 2.27 |
| Caucho | 5.14 | 0.77 | -1.04 | -0.49 |
| Química | 6.52 | 5.63 | 5.39 | 6.58 |
| Minerales no metálicos | 5.99 | 3.50 | 5.26 | 5.28 |
| Metales básicos | 2.17 | 2.17 | 3.05 | 2.56 |
| Productos metálicos | 2.09 | 1.32 | 3.71 | 4.00 |
| Maquinaria | 6.17 | 6.80 | 1.41 | 6.44 |
| Maquinaria eléctrica y electrónica | 1.84 | 3.64 | 1.75 | 2.08 |
| Transporte | 0.77 | 0.68 | 7.28 | 7.02 |
| Otros | 2.66 | 2.82 | -2.40 | 0.17 |

- (1) Con base en la información de producción y empleo registrado en el Censo Industrial en el período (1965-75)
 (2) Con base en la información de producción y empleo registrada en el Censo industrial más los establecimientos de reparación de zapatos registrados en el Censo de Servicios para el período (1965-75).
 (3) Con base en la información estadística de producción del Banco de México y la fuerza de trabajo registrada por el Censo de Población en el período (1958-1975).
 (4) Con base en la información de producción del Banco de México y la fuerza de trabajo registrada en el Censo de Población. Los precios corrientes fueron deflacionados con el índice de precios al consumidor de El Banco México para cada rama de industrial.

Fuente: J. J. Jardon, (1980).

Cuadro A2-8

Productividad laboral de la industria de las manufacturas de México.¹
(En miles de pesos de 1965)

| | 1965 | 1970 | 1975 |
|---|-------|-------|-------|
| Total industria manufacturera | 89.7 | 89.8 | 136.0 |
| Alimentos | 87.2 | 121.0 | 131.6 |
| Bebidas | 123.8 | 155.5 | 182.2 |
| Tabaco | 197.7 | 234.3 | 298.0 |
| Textil y vestido | 57.7 | 69.6 | 74.7 |
| Madera y derivados | 32.7 | 48.6 | 62.3 |
| Papel | 136.4 | 196.7 | 209.5 |
| Editorial | 68.6 | 78.2 | 83.3 |
| Cuero | 63.1 | 79.2 | 92.3 |
| Caucho | 116.0 | 159.3 | 192.5 |
| Química | 141.8 | 201.0 | 266.7 |
| Minerales no metálicos | 60.1 | 85.9 | 108.2 |
| Metales básicos | 240.3 | 309.7 | 298.1 |
| Productos metálicos | 64.0 | 81.2 | 78.7 |
| Maquinaria | 64.0 | 100.7 | 116.6 |
| Maquinaria eléctrica y electrónica | 90.0 | 113.7 | 144.6 |
| Transporte | 162.5 | 173.4 | 175.7 |
| Otros | 42.1 | 61.2 | 63.9 |

1.- La productividad se calculó en base al al producto y al empleo que se registró en el Censo Industrial.

Los precios corrientes fueron deflacionados con el índice de precios al consumidor de El Banco México para cada rama de industrial .

Fuente: J. J. Jardon (1980)

Cuadro A-2-9
Crecimiento de la productividad del trabajo en la industria
manufacturera

| Concepto | 1982-1986 | 1987-1990 |
|--|-----------|-----------|
| Industrias manufactureras | -0.3 | 3.1 |
| Alimentos bebidas y tabaco | -3.0 | 1.5 |
| Textiles, artículos de vestir, industria del calzado | -0.8 | 3.1 |
| Industrias de la madera | 2.5 | 0.0 |
| Papel, imprentas e industria editorial | 0.2 | 3.4 |
| Derivados del petróleo | -3.0 | 4.5 |
| Petroquímica | 0.6 | 10.6 |
| Química | 4.2 | -1.9 |
| Productos de plástico y de caucho | -1.6 | 1.1 |
| Productos mineros no metálicos | -1.0 | 1.7 |
| Siderurgia | 6.1 | 7.0 |
| Minero metalúrgica | 0.0 | 1.8 |
| Productos metálicos, maquinaria y equipo | -1.1 | 8.4 |
| Automotriz | -0.8 | 11.1 |
| Vehículos automotores | -2.5 | 14.3 |
| Carrocerías y partes | 1.8 | 4.7 |
| Otro equipo de transporte | -4.4 | -0.7 |
| Productos metálicos | -1.4 | 5.0 |
| Maquinaria no eléctrica | -1.6 | 9.6 |
| Maquinaria eléctrica | -0.3 | 4.4 |
| Otras Industrias Manufactureras | -5.2 | -1.4 |

Fuente: Unger, (1993)

Apéndice

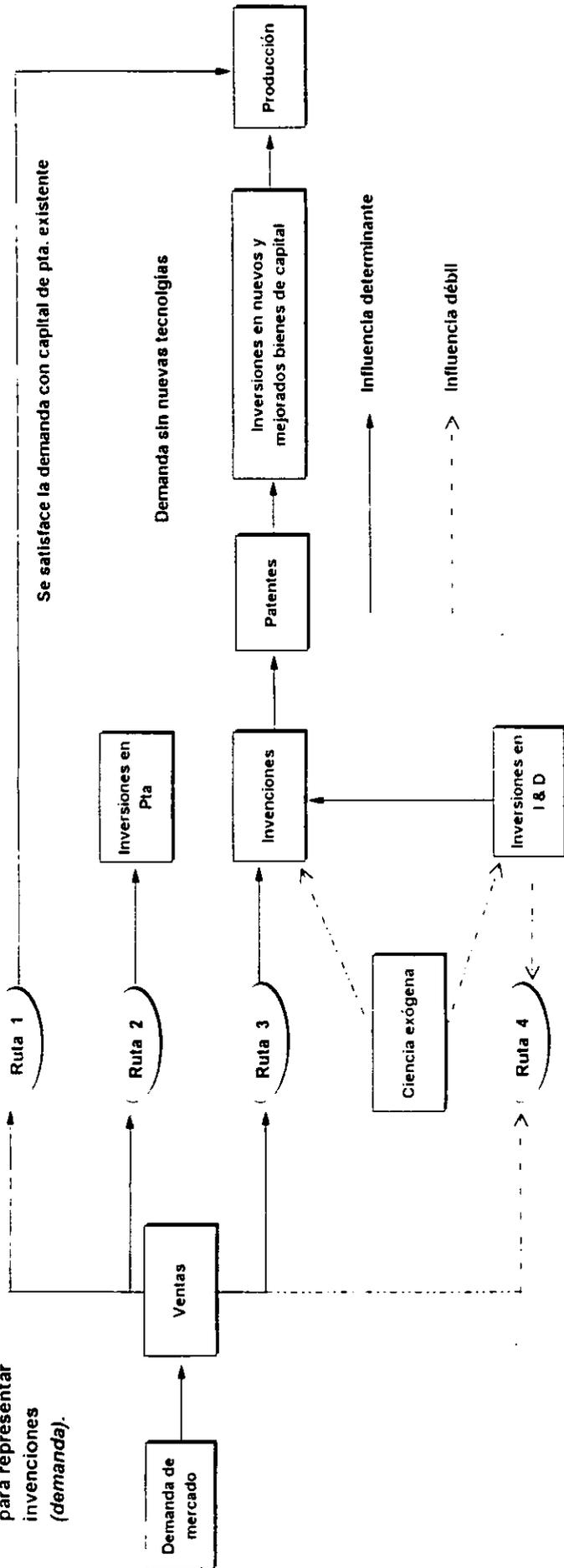
Diagramas del Capítulo 3

(D-A3)

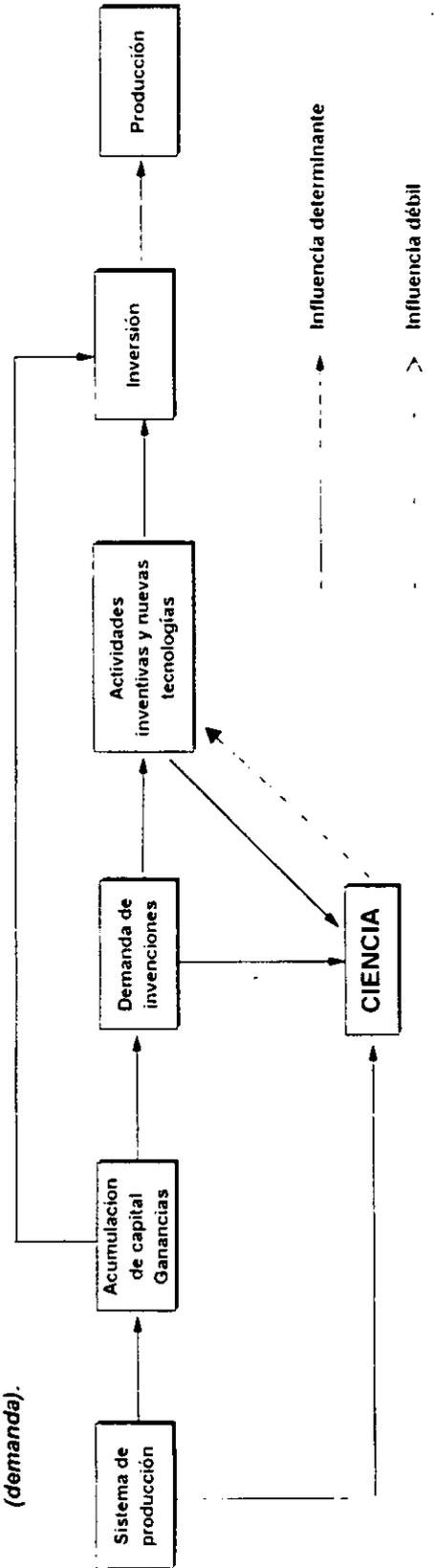
Diagrama-A3-1 (a, b, c, d.)

Modelo representativo de innovaciones

a) Modelo de Schmokier para representar inversiones (*demanda*).

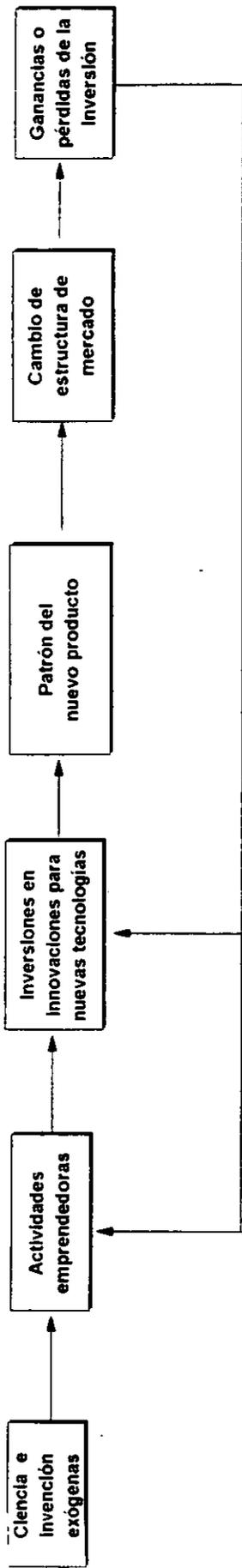


b) Modelo de Hessen (*demanda*).

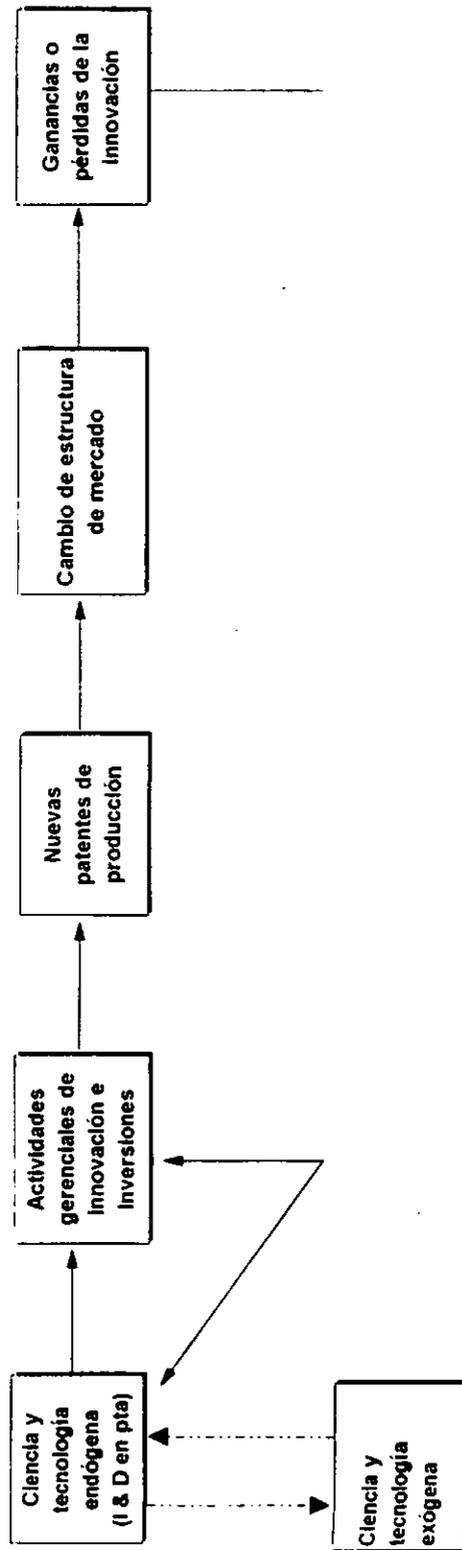


Modelo representativo de innovaciones

c) Modelo I de Schumpeter (Innovación de actividades emprendedoras)
(oferta)

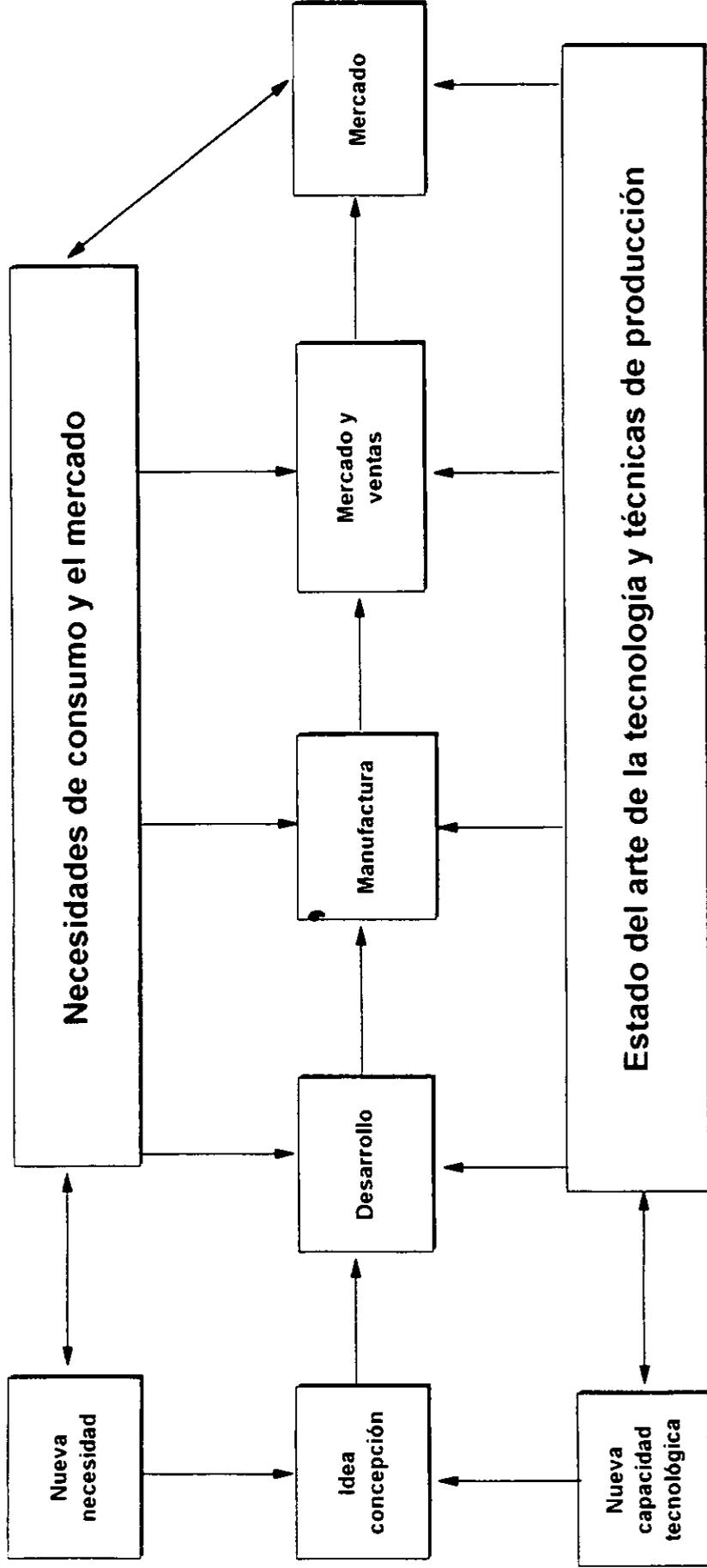


d) Modelo II de Schumpeter (Innovaciones de grandes empresas)
(oferta)



Modelo representativo de innovaciones

e)



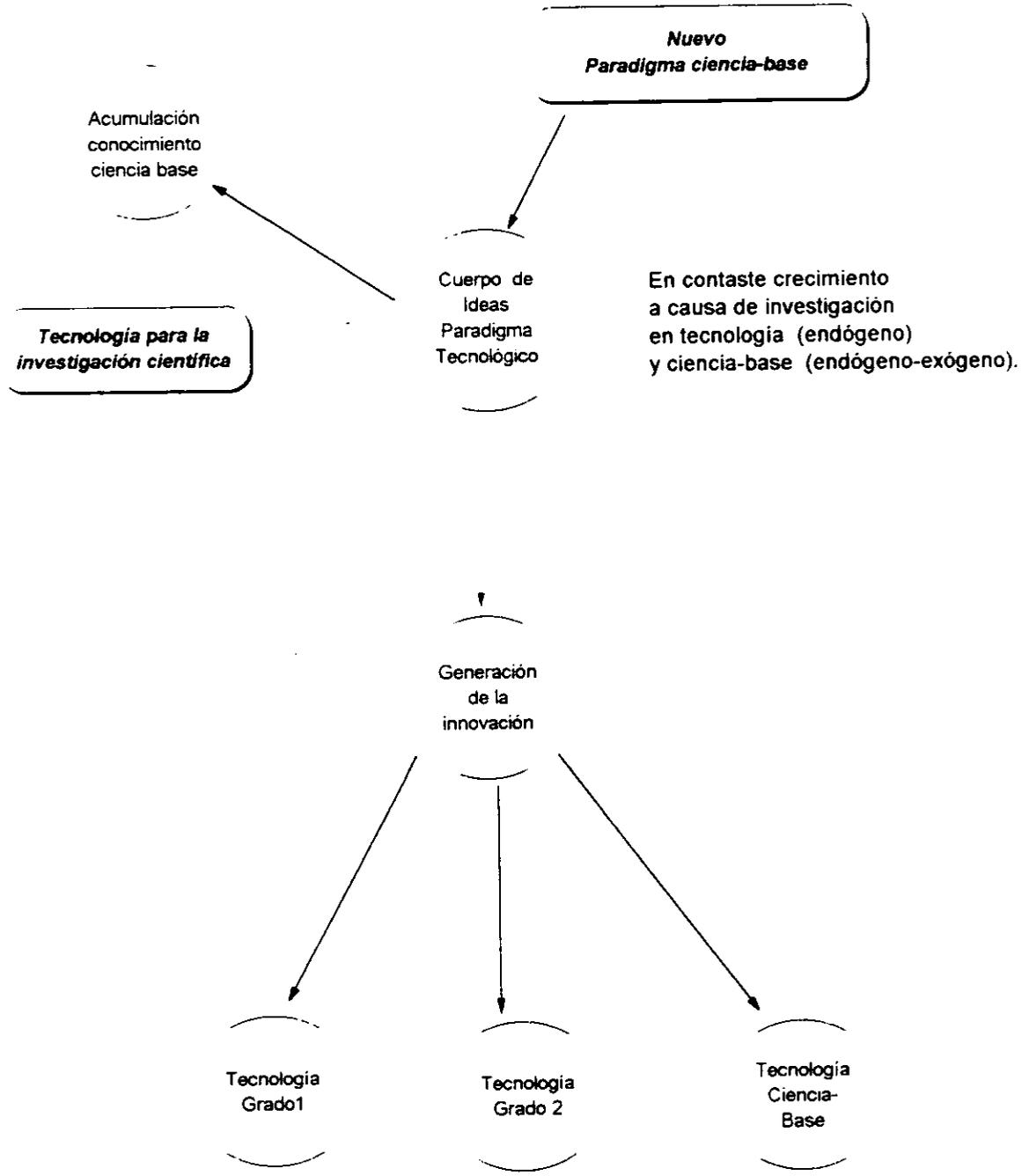
Tomado de Rothwell, (1983)

Diagrama D-A3-3

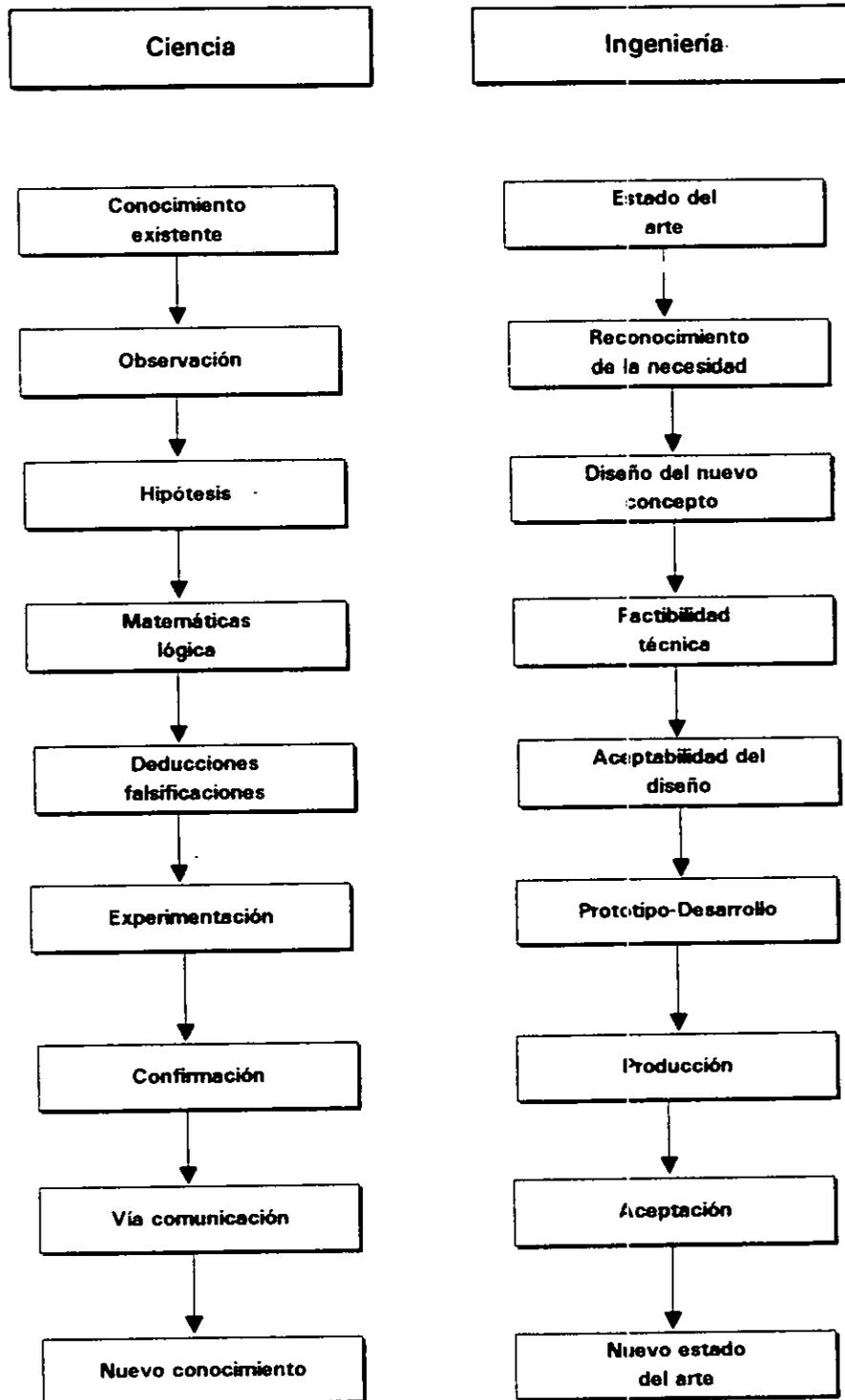
Fuentes de las innovaciones y su impacto

| | Fuente de la innovación | | | | Unidad | Impacto |
|-------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|-------------|-------------------------|
| | Autónoma | Económico | Cultural | Reiterativo | | |
| Incremental | | Economía Escala | Industrias Tradicionales | Decisiones no precio | Continuo | Sistemas |
| Radical | Tecnológico-científico | | Empresario emprendedor | Asociados a deportes | Discontinuo | Sistemas y Revoluciones |

Diagramas D-A3-4 (a,b,c)



(b)



(c)

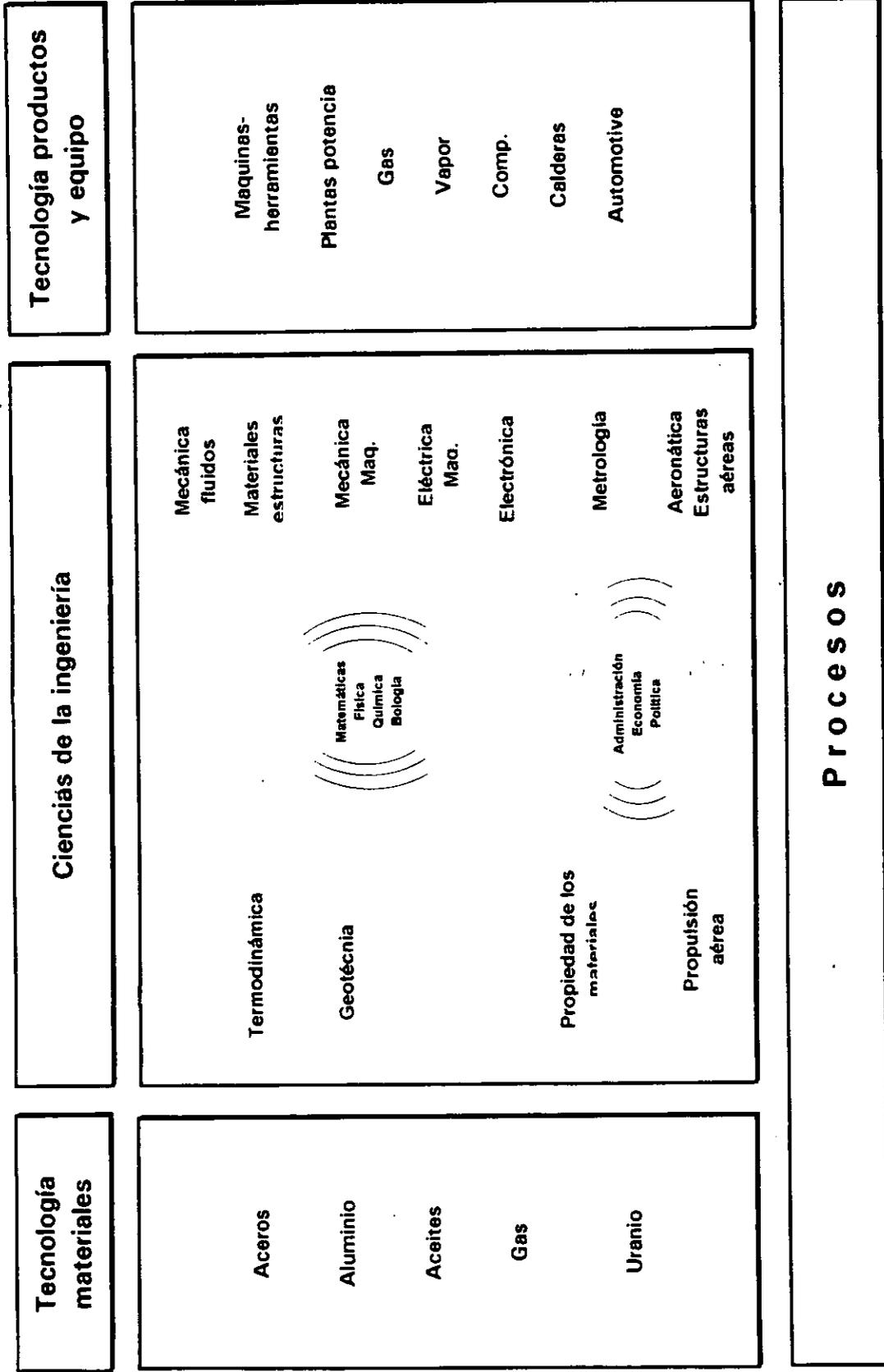
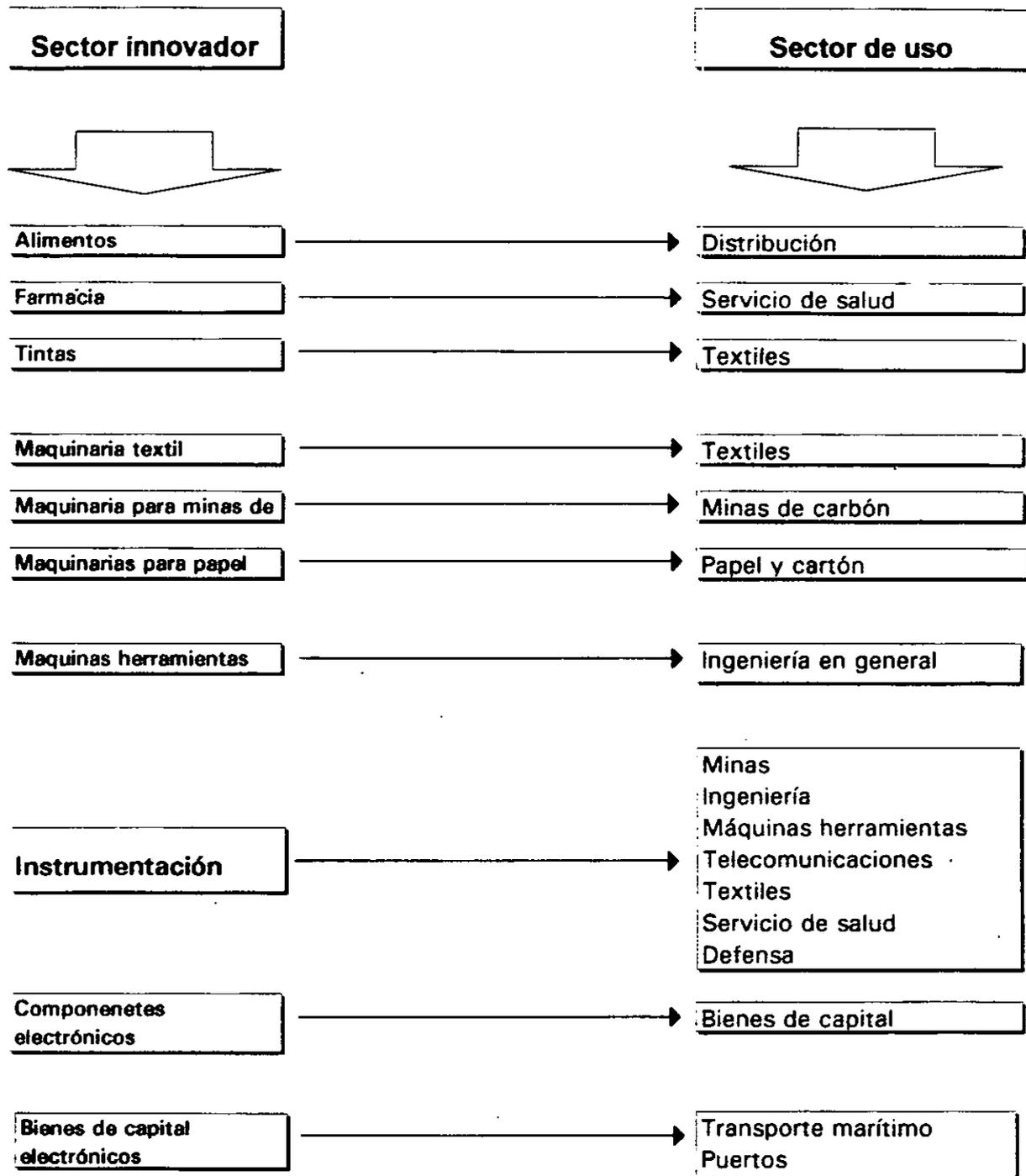
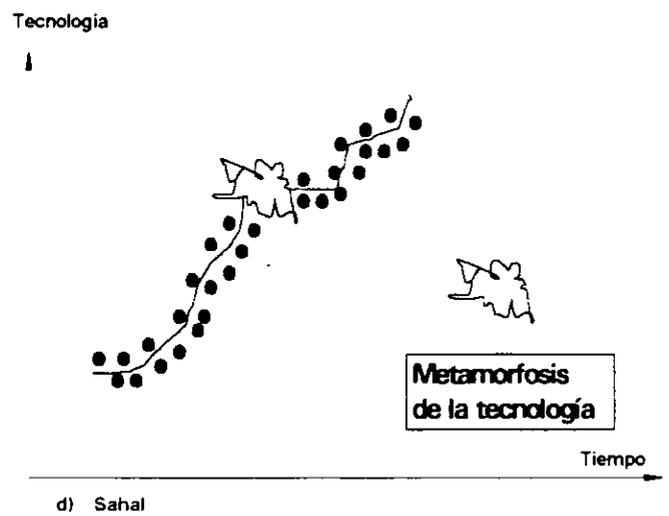
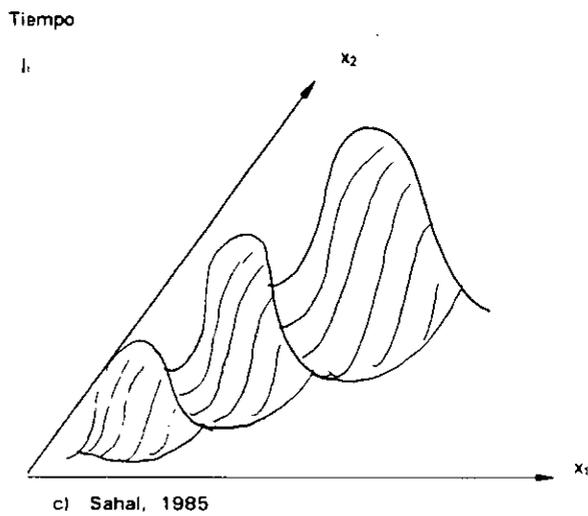
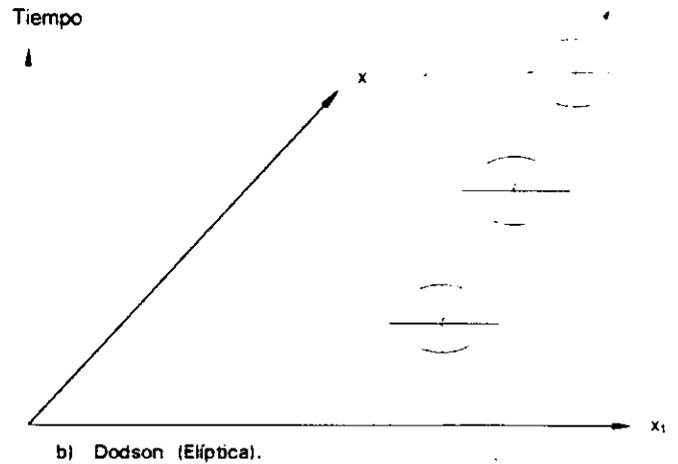
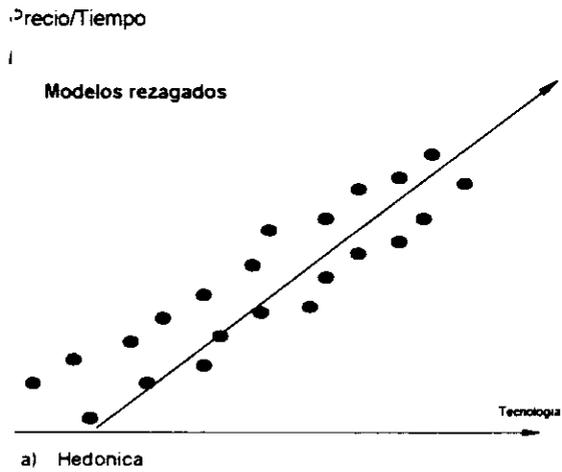


Diagrama D-A3-5
 Algunas relaciones intersectoriales



Fuente: Townsend, (et. al.), 1981

Comparación de diferentes aprovechamientos para la medición del cambio tecnológico



Fuente: Sahal, 1985

Apéndice

Cuadros del Capítulo 3

Trayectorias tecnológicas básicas de la empresa

| Definición | Fuente tecnológica | Trayectoria | Productos típicos y grupos de empresas | Problema estratégico para la gerencia |
|----------------------------|---|--|---|---|
| Ciencia-Base | I & D | Siderurgia nuevos productos | Electrónica Química | Activos complementarios Integración para explotar sinergias |
| Tamaño | Diseño | Producción eficiente y compleja | Materiales básicos | Balance y recolección de la tecnología de producción dentro de "apropiación" (secuencia y patentes). |
| Informática | Software/Depto de sistemas | Procesador de información, eficiencia y productos conexos. | Consumo de durables | Integración vertical (en cooperación con el proveedor). |
| Proveedores especializados | Proveedores especializados Empresas pequeñas de diseño Grandes usuarios | Mejoras especializadas de bienes producidos (bien hecho y de calidad). | Servicios financieros | Fusión con/mediante nuevas tecnologías de vanguardia. |
| | | | Menudeo | Difusión de la tecnología Oportunidades de producto |
| | | | Maquinaria Instrumentos Especializados químicos Software | Enlazando oportunidades tecnológicas con necesidades de producción (asesoría). Absorba experiencia Búsqueda de novedosos y mejorados productos. |

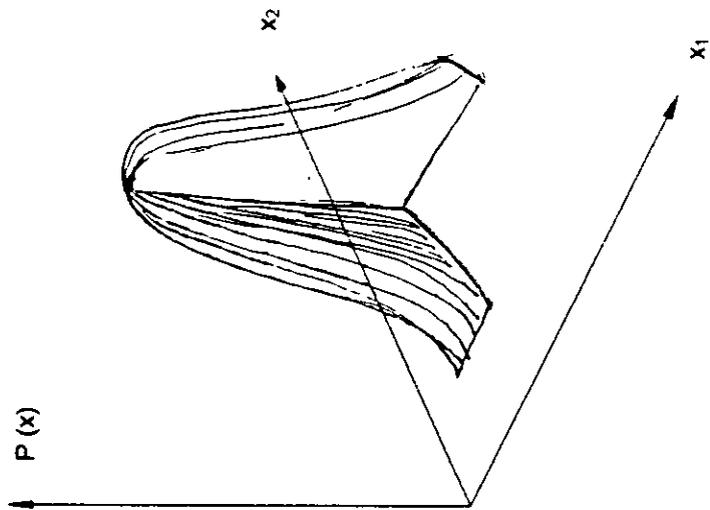
Fuente: Pavit (1989).

Apéndice del

Capítulo 4

Capítulo 4
Diagrama D-A4-1 a, b

(a)



(b)

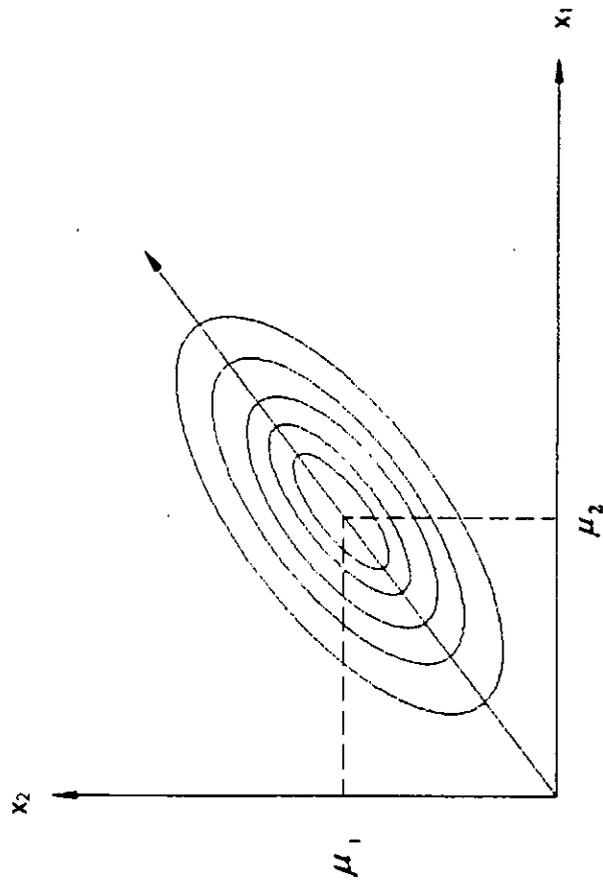
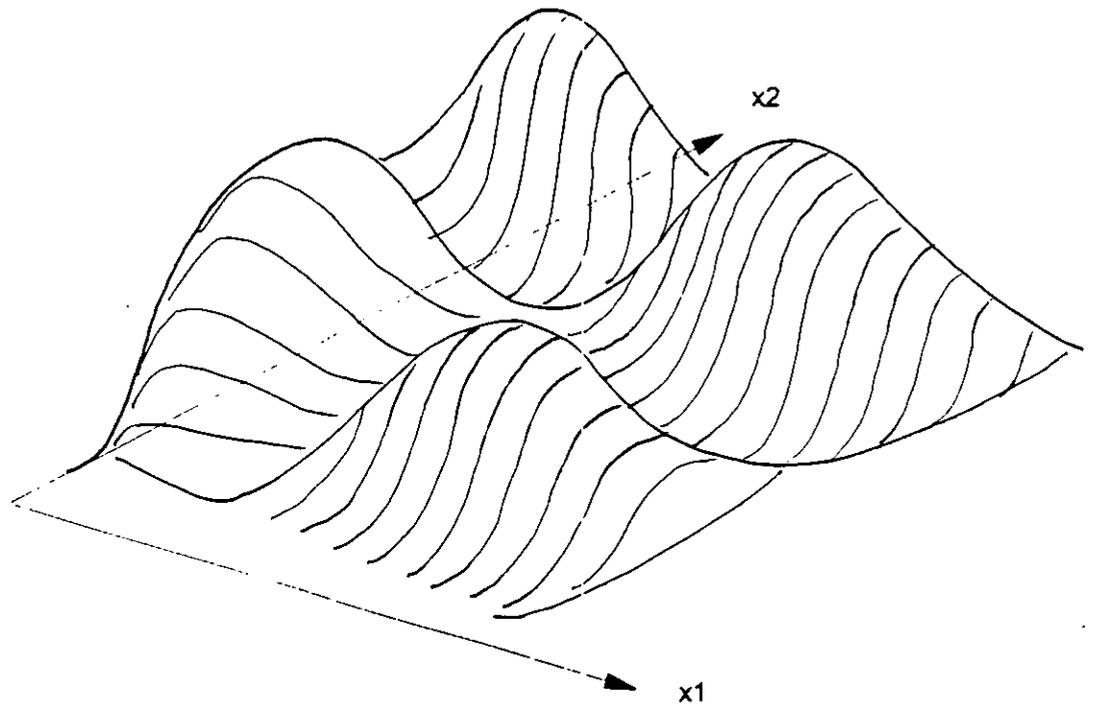


Diagrama D-A4-2

Topografía discriminatoria de la evolución tecnológica

$P(x)$



Fuente : Sahal, 1985

Apéndice del

Capítulo 5

Cuadro A5-1
Componentes iniciales

| Construcción | Generación | Transmisión |
|---|---|--|
| Proyecto Campamentos Desvío Cortina Vertedores Obra de toma Tubería Casa Maquinas Galeria Comp Desfogue Pozo de oscilación Subestación Trat roca Montaje Pruebas Contrato y servicio | Válvulas y compuertas Turbinas Generador Tubería alta presión Grúas viajeras Tableros de control Equipo Carrier | Transmisión de corriente Transformadores de potencia Torres Cuchillas Interruptores Conductores Lineas Aisladores |

Cuadro A5-2

| Parte | Proceso | Equipo | Material |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Rodete | Diseño Metal mecánico Traslados | Completos Herramientas | Producidos |
| Cojinete | Diseño Metal mecánico | Completos Herramientas | Producidos |
| Sistema aire | Diseño Metal mecánico | Completos | Producidos |
| Rotor | Diseño Metal mecánico Traslados | Completos Herramientas | Producidos |
| Baleros | Diseño Metal mecánico | Completos Herramientas | Producidos |
| Caja aceite | Diseño Metal mecánico | Completos Herramientas | Producidos |
| Chumacera | Diseño Metal mecánico Traslados | Completos Herramientas | Producidos |
| Carcaza | Diseño Metal mecánico Traslados | Completos Herramientas | Producidos |
| Tubos | Diseño Metal mecánico Traslados | Completos Herramientas | Producidos |
| Accesorios | Diseño Metal mecánico | Completos Herramientas | Producidos |
| Gobernador | Diseño Metal mecánico | Completos Herramientas | Producidos |

Cuadro A-5-3
Procesos

1. Fundición SINTETIZACION

Fundición de acero
Fundición aluminio y sus aleaciones
Fundición de hierro
Fundición de magnesio y sus aleaciones
Fundición de cobre y sus aleaciones
Sinterización
Otro

2. Mecanización con arranque de viruta

Aserrado mecánico y corte
Cepillado, laminado, ranurado, brochado
Fresado
Operaciones físico-químicas
Rectificado bruñido
Taladro roscado, mandrilado, punteado
Torneados no tradicionales

1. Chorro

a. Abrasivo
b. Ultrasonido
c. Líquido

2. Maquinado

a. Electro-química
b. Química
c. Pulido químico

3. Descarga

4. Fijas

1. Electrónico
2. Losa
3. Iones

5. Arco-plasma

Cuadro A-5-3
Procesos

3. Mediciones, control de calidad, ensayos

Análisis comportamiento del material ante agentes externos

Análisis Físico-químicos y químicos

Control de calidad de materiales

Ensayos de resistencia

Homologación

Medición y ensayos de comportamiento dinámico

Mediciones del estado superficial

Medida de dimensiones

4. Montaje

Ajuste

Montaje

Montaje por deformación mecánica

Remachado

Revestiminetos superficiales

Soldadura

Trabajo de alambre

Unión de adhesivo

Abrasivo

Especial

Transformaciones sin arranque de viruta

5. Transformaciones sin arranque de viruta

Embutición

Enderezado

Estirado y martillado

Extrusión

Forja y troquelado

Laminado-rolado

Cuadro A-5-3
Procesos

Dunzonado, cizamado, desbarado

6. Tratamiento superficie

Preparación de superficie
Revestimientos metálicos
Revestimientos no metálicos
Tratamientos electroquímicos
Tratamientos por transformación química

7. Tratamientos térmicos

Recocido
Revenido
Temple
Temple superficial
Tratamientos térmicos especiales
Tratamientos termo-químicos
Otros

Fuente: Con base en SECOFI-PEMEX (1987)

Cuadro A5-4
Equipos

30. Equipos completos

Equipos de proceso
Equipos de transporte
Equipo eléctrico
Equipo mecánico
Equipo médico
Equipo de laboratorio
Equipo de fundición
Equipo de industria minera
Equipo ind. siderúrgica
Equipo de laminación
Equipo aux. de servicios
Equipo aux. en proceso
Equipo aux. agricultura
Equipo aire acondicionado calef. y refrig.
Equipo perforación
Equipo radio telecomunic y microondas
Equipo industriales auxiliares
Equipos ind. azucarera
Equipo para maniobras
Equipo y accs. alim. para ofic. y del hogar
Instrumentos de medición y control
Maquinaria y equipo de construcción
Maquinaria equipo para imprentas
Maquinaria y equipo para la industria forestal
Maquinaria y equipo para la industria naval
Maquinas-herramientas

70. Herramienta

Herramientas eléctricas

Herramientas hidráulicas

Herramientas mecánicas

Herramientas de perforación

Herramientas de explotación

Refacciones (partes)

Refacciones de acoplamiento

Refacciones de antifricción

Refacciones de conducción

Refacciones de envolventes

Refacciones de frenado

Refacciones de lubricación

Refacciones de perforación

Refacciones de soporte

Refacciones de succión

Refacciones de transmisión

Refacciones equipos de propulsión

Refacciones para equipos de propulsión

Refacciones para equipos de regulación

Partes y componentes de arranque/encendido

Partes y componentes de calefacción

Partes y componentes de equipo naval

Partes, componentes y accesorios Ind. automotriz

Partes y componentes industria relojera

Refacciones y partes de radio comunicación electrónica y microondas

Refacciones partes y componentes de sist. de escape

Refacciones partes y componentes de suspensión

Refacciones partes y componentes de sist. comb.

Refacciones partes y comp. eléc.

Cuadro A5-5
Algunos equipos específicos

Equipos de proceso

Calentadores a fuego lento
Cambiadores de calor
Columnas de proceso
Condensadores
Enfriadores de líquidos
(Equipo de proceso)
Filtros de proceso
Pta. potabilizadora de agua
Ptas de tratamiento de agua
Precalentadores a fuego directo
Reactores de proceso
Recipientes de proceso

Equipo de transporte

Equipo de transporte carretero
Equipo de transporte ferroviario
Escaleras eléctricas
Transportadores

Equipo eléctrico

Bancos de capacitores
Consolas de control
Controles eléctricos
Convertidores
Generadores eléctricos
Motores eléctricos
Rectificadores
Reguladores de voltaje
Subestaciones
Tableros y centros de control
Transformadores

Cuadro A5-5
Algunos equipos específicos

Equipo mecánico

Bombas
Compresores
(Equipo mecánico)
Motores de combustion interna
Secadores
Sopladores
Trabsformadores
Turbinas
Variadores de velocidad y dirección
Ventiladores

Equipos médicos

Artículos médicos y dentales
Mobiliario médico y dental

Equipos para laboratorio

Autoclave
Equipo para laboratorio
Mármol de referencia (trazo y mediciones)

Equipos para fundición

Equipo para fundición
Equipo de moldeo para fundición
Hornos para fundición
Materias primas para fundición

Equipos de transporte para la industria minera

Equipos magneticos
Molinos
Quebradoras

Cuadro A5-5
Algunos equipos específicos

Equipos de transporte para la industria siderúrgica

Hornos

Equipos para laminación

Equipos auxiliares de servicios

Desgranadoras (manual)
(Equipos aux. de servicios)
Equipos aux. textiles
Lavadoras a presión
Lavadoras centrifugas
Lavadoras de aire
Máquina tortilladora
Molinos para granos (manual)

Equipos auxiliares de procesos

Aeradores
Calderas
Subestaciones
Tableros y centros de control
Transformadores

Fuente: Con base en SECOFI-PEMEX (1987)

Cuadro A5-6
Materiales

Producidos

Aleaciones ferrosas

Aleaciones no ferrosas

Materiales de unión

Materiales elecaislantes y de alta temperatura

Materiales compuestos

Plásticos

Hule y elastómeros

Otros materiales de ingeniería no estructurales y protectivos

No estructurales y protectivos

Materiales de prueba

Substancias petroquímicas

Substancias químicas

Antibióticos

Enzimas

Aminoácidos

Biofertilizantes

Vacunas

Acidos orgánicos

Agroquímicos

Biogas

Bioalimentos agrícolas

Recursos naturales

Cuadro A5-7-1-1

Fabricantes (Fabricantes de turbinas por grupos)

Fabricante

Grupo 1

A-Ch

E-W

Neyric

Toshiba

Vorth

Hitachi

Kvaerner

Mitsubishi

Grupo 2

Hydroart

Nohab

Vevey

Voest

Fujii

Grupo 3

Boving

DEW

KMW

English-Elec

Grupo 4

Riva

Tampella

Tosi

Grupo 5

Bakown-Lima

Boving-KMW

Creusot-Loire

Mil

Cuadro A5-7-1-I

Fabricantes (Fabricantes de turbinas por grupos)

Fabricante

Grupo 6

Russe

LMZ

Building(LMZ)

KTZ

Lijostroji

Skoda

CKD-Skoda

Temaire skoda

RomeNegro

Grupo 7

DFEM

TPEM

Tiajin

DEMW

Dengyosha

Temsan

Tpem

Fuente: ver R-A5-3

| Fabricantes de turbinas en el mundo 1900-1920 %Mw | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cuadro A5-7-1- 2 | | | | | | | |
| Fabricantes de turbinas en el mundo 1900-1992 (%mw) | | | | | | | |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-92 | Sin/año |
| | 100.00 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| A-Ch | 15.17 | 23.11 | 17.42 | 7.20 | 4.54 | 6.36 | 12.75 |
| Boving | 0.64 | 3.57 | 2.69 | 2.22 | 2.07 | 0.04 | 0.00 |
| Creusot-Loire | 1.68 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.60 |
| DEW | 17.08 | 14.11 | 4.74 | 5.88 | 6.22 | 0.00 | 0.00 |
| English-Elec | 1.00 | 0.95 | 1.16 | 0.14 | 0.68 | 0.21 | 6.06 |
| E-V | 14.76 | 3.85 | 4.97 | 7.18 | 3.39 | 3.47 | 1.69 |
| Hydroart | 0.70 | 0.38 | 1.08 | 2.02 | 2.22 | 2.76 | 1.11 |
| KM W | 0.37 | 2.25 | 3.03 | 0.93 | 1.44 | 0.53 | 0.22 |
| Norpic | 3.24 | 3.81 | 11.05 | 12.44 | 8.61 | 11.50 | 0.14 |
| Riva | 5.70 | 3.36 | 2.36 | 0.35 | 0.28 | 0.04 | 0.78 |
| Ruse | 12.52 | 0.00 | 0.56 | 0.19 | 5.00 | 3.72 | 6.04 |
| Tampella | 1.47 | 0.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Tamatre-Voith | 0.84 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.00 |
| Tohiba | 1.21 | 6.65 | 0.30 | 3.54 | 3.94 | 5.56 | 6.62 |
| Tosa | 0.95 | 3.37 | 2.20 | 0.53 | 0.00 | 0.00 | 0.13 |
| Voith | 18.46 | 8.14 | 5.97 | 5.30 | 9.23 | 6.45 | 2.36 |
| S n | 4.22 | 1.43 | 2.19 | 0.17 | 0.79 | 0.22 | 13.06 |
| Baldwin-Lima | | 8.79 | 1.37 | 0.98 | 0.00 | 0.00 | 1.80 |
| Boving-KMW | | 3.32 | 0.63 | 1.18 | 0.51 | 0.06 | 0.00 |
| Hitachi | | 1.67 | 1.92 | 5.18 | 10.92 | 13.49 | 11.71 |
| John Inglis | | 0.91 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Kvaerner | | 1.84 | 4.19 | 6.59 | 4.19 | 5.43 | 0.06 |
| LMZ | | 0.40 | 13.71 | 9.62 | 9.84 | 1.46 | 0.00 |
| Milton | | 0.12 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mitsubishi | | 0.26 | 4.02 | 4.08 | 3.97 | 2.66 | 2.50 |
| Nchab | | 0.73 | 2.11 | 2.12 | 0.42 | 0.25 | 0.44 |
| Vevey | | 4.93 | 5.32 | 2.60 | 1.06 | 1.28 | 0.37 |
| Voest | | 1.67 | 4.08 | 2.08 | 1.46 | 1.86 | 2.30 |
| CFD-Blansko | | | 0.14 | 0.00 | 0.48 | 0.16 | 0.00 |
| DIEM | | | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 9.43 |
| Fujit | | | 0.23 | 0.74 | 1.12 | 1.58 | 1.56 |
| KTZ | | | 0.10 | 5.10 | 0.83 | 1.86 | 0.00 |
| Ljostroj | | | 0.24 | 1.50 | 1.10 | 0.67 | 0.36 |
| Skoda | | | 1.08 | 0.53 | 1.29 | 0.84 | 0.73 |
| TIEM | | | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ar dritz | | | | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ar dritz-Voest | | | | 0.46 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Arsaldo | | | | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.17 |
| Charmiles | | | | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CFD-Skoda | | | | 0.10 | 0.48 | 0.00 | 0.00 |
| Ebara A-Ch | | | | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| E-Winglis | | | | 0.10 | 0.00 | 0.62 | 0.00 |
| MI | | | | 5.72 | 1.91 | 0.58 | 0.00 |

| Fabricantes de turbinas en el mundo 1900-1920 %Mw | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cuadro A5-7-1 - 2 | | | | | | | |
| Fabricantes de turbinas en el mundo 1900-1992 (%mw) | | | | | | | |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-92 | Sin/año |
| | 100.00 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| New Port | | | | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 1.88 |
| Temaire CKD | | | | 0.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Temaire E-W | | | | 2.05 | 0.25 | 0.48 | 0.00 |
| Tiajin | | | | 0.41 | 0.21 | 1.38 | 0.34 |
| ACEC | | | | | 0.12 | 0.15 | 0.00 |
| Bardella | | | | | 3.16 | 1.68 | 0.00 |
| Bhell | | | | | 3.22 | 6.92 | 1.17 |
| Boving-Voith | | | | | 0.11 | 0.00 | 0.00 |
| Harbin | | | | | 0.60 | 0.63 | 0.00 |
| Hydroart Tosi | | | | | 0.08 | 0.00 | 0.00 |
| Neyric Mil | | | | | 1.37 | 3.82 | 0.00 |
| RomeNegro | | | | | 0.56 | 0.73 | 0.00 |
| Sulzer E-W | | | | | 0.06 | 0.39 | 1.42 |
| Temaire skoda | | | | | 0.40 | 0.04 | 0.00 |
| Temaire | | | | | 0.57 | 0.00 | 1.75 |
| Vevey Pescamon | | | | | 0.12 | 0.00 | 0.00 |
| Voest Alpine | | | | | 0.08 | 0.39 | 0.00 |
| Voigt-Hydro | | | | | 1.08 | 0.42 | 0.05 |
| American Hydro | | | | | | 0.00 | 0.03 |
| Bell E-W | | | | | | 0.05 | 0.00 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| Building(L.M.Z) | | | | | | 0.48 | 0.00 |
| Ebara | | | | | | 0.00 | 0.03 |
| C.A.C. | | | | | | 0.00 | 0.28 |
| Charmiles | | | | | | 0.58 | 0.00 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| | | | | | | 0.10 | 0.00 |
| CMEC | | | | | | 0.00 | 0.02 |
| Cwtm | | | | | | 2.16 | 0.00 |
| DBS | | | | | | 0.65 | 0.00 |
| DBS E-W | | | | | | 0.00 | 0.51 |
| DEM/W | | | | | | 0.00 | 1.20 |
| Dengyosha | | | | | | 0.22 | 0.00 |
| Depetto | | | | | | 0.14 | 0.00 |
| Depetto E-W | | | | | | 1.29 | 0.00 |
| G.E. | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| | | | | | | 0.10 | 2.00 |
| HEN/W | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |

Fabricantes de turbinas en el mundo 1900-1920 %Mw

Cuadro A5-7-1- 2

Fabricantes de turbinas en el mundo 1900-1992 (%mw)

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-92 | Sin/año |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 100.00 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| KTZ-STW | | | | | | 0.48 | 0.00 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| Maifer Voith Riva | | | | | | 0.04 | 0.00 |
| MEP | | | | | | 0.16 | 0.00 |
| Morgan smith | | | | | | 0.05 | 0.00 |
| Nemip | | | | | | 0.00 | 0.02 |
| Newport N St | | | | | | 0.00 | 1.09 |
| Newport N Voest | | | | | | 0.00 | 1.15 |
| Nepvic Inc | | | | | | 0.04 | 0.00 |
| Nepvic Sorefame | | | | | | 0.24 | 0.00 |
| Nepvic Gel-Alst | | | | | | 0.53 | 0.00 |
| Nepvic miniHidro | | | | | | 0.03 | 0.00 |
| Noell | | | | | | 0.10 | 0.00 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| Pelton Water | | | | | | 0.12 | 0.00 |
| Power | | | | | | 0.03 | 0.00 |
| STW | | | | | | 0.64 | 0.00 |
| Tampella | | | | | | 0.03 | 0.00 |
| Tensan | | | | | | 0.06 | 0.00 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| Temaire Toshiba | | | | | | 0.00 | 0.94 |
| | | | | | | 0.00 | 0.00 |
| Tpen | | | | | | 0.00 | 0.13 |
| Tesa | | | | | | 0.09 | 0.00 |
| Turnine Bulding | | | | | | 0.44 | 0.00 |
| Ucsi resita | | | | | | 0.05 | 0.00 |
| Wvis | | | | | | 0.24 | 0.00 |

Fuente Ver Recuadro R-A5-3

Cuadro A5-7-2

| FABRICANTE | Fabricantes de turbinas %Mw instalados | | | | | | S/Año |
|-------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | |
| A-Ch | 15.16893521 | 23.11461539 | 17.42003579 | 7.197216914 | 4.544241885 | 6.361552231 | 12.7542877 |
| Ebara A-Ch | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.051349895 | 0.024034706 | 0.001046824 | 0.001451 |
| | 15.17 | 23.11 | 17.42 | 7.25 | 4.54 | 6.36 | 12.75 |
| E-W | 14.76096873 | 3.849336594 | 4.965582121 | 7.183663469 | 3.38949443 | 3.471269903 | 1.687512696 |
| E-W Inglis | | 0 | 0.002294525 | 0.097995982 | 0.000600868 | 0.622860553 | 0.001451 |
| Temaire E-W | | 0 | 0.002294525 | 2.053995786 | 0.254767885 | 0.481539251 | 0.001451 |
| Sulzer E-W | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.05888503 | 0.391512347 | 1.421979744 |
| Bell E-W | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.050247574 | 0.001451 |
| DBS E-W | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.649031164 | 0.001451 |
| Depetto E-W | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.141321302 | 0.001451 |
| Teisa | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.08688643 | 0.001451 |
| Wyss | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.238675976 | 0.001451 |
| | 14.76 | 3.85 | 4.97 | 9.33 | 3.6 | 6.133344499 | 2.93 |
| Neyrpic | 3.241479064 | 3.809365562 | 11.04813914 | 12.4415659 | 8.609632598 | 11.49936667 | 0.142197974 |
| Neyrpic Mil | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 1.373583455 | 3.823002921 | 0.001451 |
| Neyrpic Inc | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.03768568 | 0.001451 |
| Neyrpic Sorefame | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.238675976 | 0.001451 |
| Neyrpic Gel-Alst | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.527599527 | 0.001451 |
| Neyrpic miniHidro | | 0 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.02826426 | 0.001451 |
| | 3.24 | 3.81 | 11.05 | 12.44 | 9.98 | 16.15459504 | 0.14 |
| Toshiba | 1.205355487 | 6.648008852 | 0.30150062 | 3.541574795 | 3.939288332 | 5.557591048 | 6.622362808 |
| Voith | 18.45862849 | 8.144508187 | 5.973796521 | 5.302562595 | 9.225121075 | 6.446345012 | 2.360776575 |
| Tamaire-Voith | 0.838185662 | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.05862217 | 0.001451 |
| Andritz-Voest | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.457837229 | 0.000600868 | 0.001046824 | 0.001451 |
| Boving-Voith | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.110559648 | 0.001046824 | 0.001451 |
| Voigt-Hydro | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 1.081561775 | 0.415903357 | 0.049333991 |
| Maifer Voith Riva | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.039779329 | 0.001451 |
| | 19.3 | 8.14 | 5.97 | 5.76 | 10.42 | 6.97 | 2.41 |
| Hitachi | | 1.66990544 | 1.921435455 | 5.177029742 | 10.91836612 | 13.49461409 | 11.71101889 |
| Kvaerner | | 1.553496249 | 4.189573677 | 6.59120976 | 4.19345535 | 5.430925288 | 0.05803999 |
| Mitsubishi | | 0.258482022 | 4.021614428 | 4.081924641 | 3.974739524 | 2.657887299 | 2.50152355 |
| Tot Gran Fab | 53.67535549 | 49.03989256 | 49.84412418 | 54.17173894 | 51.56584933 | 62.75895726 | 39.12294524 |
| Hydroart | 0.697251789 | 0.384468764 | 1.081639209 | 2.016855309 | 2.216600772 | 2.759429271 | 1.105661801 |
| Hydroart Tosi | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.07691106 | 0.001046824 | 0.001451 |
| American Hydro | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 0.028149395 |
| | 0.7 | 0.38 | 1.08 | 2.02 | 2.3 | 2.76 | 1.14 |

Cuadro A5-7-2

| Fabricantes de turbinas %Mw instalados | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| FABRICANTE | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/Año |
| Nohab | | 0.726632016 | 2.113946125 | 2.124454897 | 0.418804754 | 0.245794383 | 0.44255492 |
| Vevey | | 4.928359569 | 5.321692442 | 2.600421383 | 1.055123598 | 1.28016163 | 0.366377434 |
| Vevey Pescamon | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.115366589 | 0.001046824 | 0.001451 |
| | | 4.93 | 5.32 | 2.6 | 1.18 | 1.28 | 0.37 |
| Voest | | 1.673624606 | 4.079665917 | 2.07536891 | 1.459387355 | 1.856961906 | 2.295481587 |
| Voest Alpine | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.084722339 | 0.386278225 | 0.001451 |
| Newport V Voest | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 1.154995792 |
| | | 1.67 | 4.08 | 2.08 | 1.54 | 2.25 | 3.45 |
| Fujii | | 0.003920001 | 0.22689096 | 0.739575677 | 1.120017305 | 1.582798581 | 1.55692272 |
| Tot 2 Gpo | 0.7 | 7.710552017 | 12.82064522 | 9.564030575 | 6.558822059 | 8.118592963 | 6.95947764 |
| Boving | 0.636056819 | 3.568074681 | 2.685282915 | 2.216669117 | 2.0711908 | 0.041872978 | 0.001451 |
| DEW | 17.08266884 | 14.10958522 | 4.74209536 | 5.87975893 | 6.21837934 | 0.001046824 | 0.001451 |
| KMW | 0.370878611 | 2.246841034 | 3.034280207 | 0.931353814 | 1.435472823 | 0.526552702 | 0.219100961 |
| English-Ellec | 1.001372251 | 0.946062798 | 1.161718141 | 0.137194375 | 0.684989124 | 0.209364892 | 6.05647291 |
| Tot 3 Gpo | 19.09 | 20.87056373 | 11.62 | 9.14 | 10.41 | 0.78 | 6.28 |
| Riva | 5.694841079 | 3.360731188 | 2.363819926 | 0.345827821 | 0.283008665 | 0.041872978 | 0.77628486 |
| Tampella | 1.472388087 | 0.369127205 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 0.001451 |
| Tosi | 0.945740459 | 3.370483998 | 2.199073012 | 0.52633642 | 0.000600868 | 0.001046824 | 0.129138977 |
| Tot 4 Gpo | 8.11 | 7.100352391 | 4.56 | 0.88 | 0.28 | 0.04 | 0.91 |
| Baldwin-Lima | | 8.794432409 | 1.368225414 | 0.983095693 | 0.000600868 | 0.001046824 | 1.799239676 |
| Boving-KMW | | 3.324004426 | 0.63305952 | 1.181831545 | 0.513741843 | 0.05862217 | 0.001451 |
| Creusot-Loire | 1.683788896 | 0.003920001 | 0.118168051 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 3.604283351 |
| Mil | | 0.003920001 | 0.002294525 | 5.715811652 | 1.910158269 | 0.580987574 | 0.001451 |
| Tot 5 Gpo | 1.681 | 12.12627684 | 2.12 | 7.88 | 2.42 | 0.64 | 5.4 |
| Russe | 12.51715314 | 0.003920001 | 0.560093617 | 0.193738057 | 4.996214534 | 3.723554597 | 6.043413912 |
| LMZ | | 0.365161365 | 13.71323023 | 9.61732569 | 9.844014757 | 1.480320119 | 0.001451 |
| Building(LMZ) | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.480492426 | 0.001451 |
| KTZ | | 0.003920001 | 0.097287871 | 5.102650791 | 0.827995626 | 1.863347535 | 0.001451 |
| Lijostroj | | 0.003920001 | 0.243678583 | 1.49561468 | 1.10078954 | 0.669758288 | 0.359412635 |
| Skoda | | 0.003920001 | 1.078885779 | 0.533490127 | 1.291865454 | 0.839657898 | 0.734205868 |
| CKD-Skoda | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.097995982 | 0.480694122 | 0.001046824 | 0.001451 |
| Temaire skoda | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.400177857 | 0.041872978 | 0.001451 |
| RomeNegro | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.556403447 | 0.729636647 | 0.001451 |
| Tot Soc Gpo | 12.52 | 0.4 | 15.69 | 17.04 | 19.5 | 9.809687314 | 7.145738414 |
| DFEM | | 0.003920001 | 0.807672892 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.133993531 | 9.432949302 |
| TPEM | | 0.003920001 | 0.137671516 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 0.001451 |
| Tiajin | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.406683326 | 0.20729934 | 1.381808285 | 0.340984939 |
| DEMW | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 0.507849909 |
| Dengyosha | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 1.201427784 |
| Temsan | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.057575345 | 0.001451 |

Cuadro A5-7-2

| FABRICANTE | Fabricantes de turbinas %Mw instalados | | | | | | |
|------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/Año |
| Tpem | | 0.003920001 | 0.002294525 | 0.00097996 | 0.000600868 | 0.001046824 | 0.130589976 |
| Tot Asia | | | 0.96 | 0.41 | 0.21 | 1.57 | 11.65 |
| S/n | 4.224307384 | 1.431413934 | 2.193795604 | 0.173256896 | 0.78593489 | 0.217739487 | 13.05899765 |
| subtotal | 99.99966287 | 98.67905147 | 99.798565 | 99.25902641 | 91.73060628 | 83.93497702 | 90.52715894 |
| Otras | | 1.034392986 | 0.196640815 | 0.727228184 | 8.147164506 | 16.07838622 | |

Fuente: Recuadro R-A5-2

Cuadro A5-7-3

Fabricantes de turbinas por grupos (%Mw)

| FABRICANTE | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/Año |
|---------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A-Ch | 15.17 | 23.11 | 17.42 | 7.25 | 4.54 | 6.36 | 12.75 |
| E-W | 14.76 | 3.85 | 4.97 | 9.33 | 3.60 | 106.52 | 2.93 |
| Neyrpic | 3.24 | 3.81 | 11.05 | 12.44 | 9.98 | 112.88 | 0.14 |
| Toshiba | 1.21 | 6.65 | 0.30 | 3.54 | 3.94 | 5.56 | 6.62 |
| Worth | 19.30 | 8.14 | 5.97 | 5.76 | 10.42 | 6.97 | 2.41 |
| Hitachi | | 1.67 | 1.92 | 5.18 | 10.92 | 13.49 | 11.71 |
| Kvaerner | | 1.55 | 4.19 | 6.59 | 4.19 | 5.43 | 0.06 |
| Mitsubishi | | 0.26 | 4.02 | 4.08 | 3.97 | 2.66 | 2.50 |
| Grand fabric | 53.68 | 49.04 | 49.84 | 54.17 | 51.17 | 62.76 | 39.12 |
| Hydroar. | 0.70 | 0.38 | 1.08 | 2.02 | 2.30 | 2.76 | 1.14 |
| Nohab | | 0.73 | 2.11 | 2.12 | 0.42 | 0.25 | 0.44 |
| Vevey | | 4.93 | 5.32 | 2.60 | 1.18 | 1.28 | 0.37 |
| Voest | | 1.67 | 4.08 | 2.08 | 1.54 | 2.25 | 3.45 |
| Fujii | | 0.00 | 0.23 | 0.74 | 1.12 | 1.58 | 1.56 |
| Grupo 2 | 0.70 | 7.71 | 12.82 | 9.56 | 6.56 | 8.12 | 6.96 |
| Boving | 0.64 | 3.57 | 2.69 | 2.22 | 2.07 | 0.04 | 0.00 |
| DEW | 17.08 | 14.11 | 4.74 | 5.88 | 6.22 | 0.00 | 0.00 |
| KMW | 0.37 | 2.25 | 3.03 | 0.93 | 1.44 | 0.53 | 0.22 |
| English-Elec | 1.00 | 0.95 | 1.16 | 0.14 | 0.68 | 0.21 | 6.06 |
| Grupo 3 | 19.09 | 20.88 | 11.62 | 9.14 | 10.41 | 0.78 | 6.28 |
| Grupo 4 | 8.11 | 7.10 | 4.56 | 0.88 | 0.28 | 0.04 | 0.91 |
| Grupo 5 | 1.68 | 12.13 | 2.12 | 7.88 | 2.42 | 0.64 | 5.40 |
| Gpo Soc | 12.52 | 0.40 | 15.69 | 17.04 | 19.50 | 9.81 | 7.15 |
| Gpo Asia | | | 0.95 | 0.41 | 0.21 | 1.57 | 11.65 |
| Otras | | | 0.196 | 0.727 | 8.147 | 16.07 | |
| S/N | 4.22 | 1.43 | 2.19 | 0.17 | 0.79 | 0.22 | 13.06 |
| Total | 100.00 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fuente Recuadro R-A5-2

| Cuadro A5-8-3 MW Instalados por País (%) | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| País | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| Africa del Sur | | | | | 0.002932506 | 0.010007235 | |
| Albania | | | | | | 0.006864963 | 0.011551878 |
| América Su | | 0.001986847 | | | | | |
| Angola | | | 0.005222715 | 0.001718473 | 0.003704218 | | |
| Argentina | | 0.007506866 | 0.001353364 | 0.01009631 | 0.000574154 | | 0.022623604 |
| Australia | | 0.006113376 | 0.012066742 | 0.019768479 | 0.009943356 | 0.006934013 | 0.023767494 |
| Austria | | 0.025766082 | 0.011281064 | 0.003193176 | 0.002992391 | 0.005182747 | 0.000847326 |
| Belgica | | | | | 0.000864318 | | 0.022906046 |
| Birmania | | | | | | 0.000255184 | |
| Brasil | | 0.02723599 | 0.016853473 | 0.093528829 | 0.224917041 | 0.088583046 | 0.004137775 |
| Bulgaria | | | 0.002929262 | 0.002760032 | | | |
| Camerún | | | | | 0.001222392 | 0.001951411 | |
| Canada | 0.182065557 | 0.210282159 | 0.07879487 | 0.181013792 | 0.116641509 | 0.07484111 | 0.036717459 |
| Chile | | 0.004450178 | 0.003912495 | 0.003755256 | | 0.016886209 | 0.001334538 |
| China | | 0.013260632 | 0.024455929 | 0.005217871 | 0.010229816 | 0.072802636 | 0.115842171 |
| Colombia | | | 0.00438481 | 0.00392952 | 0.003496782 | 0.027639984 | 0.004067165 |
| Corea | 0.010227699 | 0.052125522 | 0.001146726 | 0.004451307 | 0.002412681 | 0.010157344 | 0.018923614 |
| Costa Rica | | | 0.000787949 | 0.000765556 | 0.002496643 | 0.001164842 | 0.00049851 |
| Cote D'ivoire | | | | 0.002073046 | 0.0014928 | | |
| Cuba | | | 0.00076297 | 0.000168221 | | | 0.000235839 |
| Egipto | | | | 0.021757918 | | 0.021615628 | |
| Ecuador | | | | | 0.001154481 | | |
| España | 0.014293757 | 0.048547399 | 0.052104527 | 0.027658746 | 0.007957895 | 0.027880157 | 0.016364689 |
| Etiopia | | | 0.001062709 | 0.000724257 | | 0.003052207 | |
| Finlandia | 0.009336294 | 0.002112711 | 0.000676682 | | | 0.000260188 | |
| Formo Taiwan | | | | | | | 0.0141221 |
| Francia | 0.000156387 | 0.064262372 | 0.055610558 | 0.019661704 | 0.009384019 | 0.003431481 | 0.035690783 |
| Francia otros | | | 0.001587251 | | | | 0.000727288 |
| Gabon | | | | | 0.000563659 | 0.000261189 | |
| Ghana | | | | 0.009549309 | 0.002043494 | | |
| Grecia | | | 0.003406118 | 0.01010333 | 0.00464262 | 0.00170123 | 0.002838542 |
| Haiti | | | | 0.000565101 | | | |
| Honduras | | | | 0.000340471 | 0.000155577 | 0.003232337 | |
| Hungría | | | | | 0.001240913 | | |
| Ile Maurice | | | | | 0.000195089 | | |
| India | | 0.002481311 | 0.023088941 | 0.020461509 | 0.038147274 | 0.104648661 | 0.019149567 |
| Indonesia | | 0.002980271 | 0.00292472 | | 0.003107222 | 0.022339151 | |
| Iran | | | 0.000817468 | 0.028271191 | 0.000908768 | 0.005833217 | |
| Irak | | | | | 0.002531216 | 0.022714423 | |
| Irlanda | 0.013371075 | 0.001123782 | | 0.003263688 | 0.001666898 | | |
| Islandia | | 0.002908349 | 0.00298376 | 0.002577709 | 0.003296137 | 0.0016602 | |
| Italia | 0.133444889 | 0.07079829 | 0.034097515 | 0.010667424 | 0.014910096 | 0.011177081 | 0.030904803 |
| Japón | 0.033075816 | 0.027006738 | 0.033379959 | 0.026549697 | 0.033853467 | 0.061384381 | 0.11635904 |
| Kenia | | | | | 0.001444645 | 0.002651917 | |
| Laos | | | | | 0.000845796 | 0.000530383 | |
| Liban | | | 0.000951442 | | | | 0.000593128 |
| Liberia | | | | | 0.000191385 | | |
| Luxemburgo | | | 0.016680897 | 0.003952688 | | | 0.015633164 |
| Madagascar | | | | | 0.000426602 | | |
| Malasia | | | | 0.001973322 | 0.003399238 | 0.007085123 | 0.00598777 |
| Malawi | | | | | 0.000367335 | 0.001012732 | |
| Marróc | | 0.004292849 | | 0.000227652 | 0.001324875 | 0.004897541 | 0.006573837 |
| México | 0.02982297 | 0.00816765 | 0.010611194 | 0.045903164 | 0.012728928 | 0.026289007 | |
| Mozambique | | | 0.001124019 | 0.000503656 | 0.014106898 | | |
| Nepal | | | | | | 0.000990716 | |
| Nicaragua | | | | 0.000554021 | | | 0.000734349 |
| Nigeria | | | | | 0.003827692 | 0.000340246 | |
| Noruega | 0.006912298 | 0.02273187 | 0.049826969 | 0.055267127 | 0.02949422 | 0.026080856 | 0.00309274 |

| Cuadro A5-8-3 MW Instalados por País (%) | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| País | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| Nva Zelandia | | | | | | 0.00112081 | |
| Nva Guinea | | | | | 0.000287077 | 0.000596431 | 0.000720227 |
| Nva Zel Engl | 0.005364069 | 0.02914642 | 0.023023089 | 0.01525774 | 0.003952401 | 0.007335303 | 0.002558924 |
| Pakistan | | | 0.003724023 | 0.002518278 | 0.011705329 | 0.0217157 | 0.00706105 |
| Panama | | | | | 0.001487861 | | |
| Paraguay | | | | 0.001420309 | 0.000779121 | | 0.000847326 |
| Peru | | | 0.0011876 | 0.000430122 | | | 0.000451907 |
| Philippines | | 0.001155248 | 0.002593191 | 0.00356991 | 0.004346283 | 0.008941465 | 0.003890638 |
| Polonia | | | | 0.001434411 | 0.012298004 | | 0.01109997 |
| Portugal | | 0.002288021 | 0.015173122 | 0.00341277 | 0.001548981 | | 0.003551708 |
| RDA | | | | 0.00421056 | 0.006482382 | | |
| Rep Dominica | | | | 0.000524809 | 0.000509947 | 0.001611165 | |
| RFA | 0.096428125 | 0.009673519 | 0.008767348 | 0.028030444 | 0.001456992 | 0.003392453 | 0.004924376 |
| Rhode Zimbawe | | | 0.018983433 | | | | |
| Rumana | | | 0.005104636 | 0.002276523 | 0.0057224 | 0.007475405 | |
| Royaume uni | 0.008444889 | | 0.002048212 | | | | 0.001892361 |
| Roy-Uni Esco | | 0.001604761 | 0.006898525 | 0.002915158 | 0.003444923 | | |
| Roy-Uni Gales | | | 0.009010318 | 0.019159056 | | | |
| San Salvador | | 0.003281445 | 0.000413276 | 0.000417027 | 0.000845796 | 0.000400289 | 0.001920606 |
| Sri-Lanka | | | | 0.001388075 | 0.000755661 | 0.005328853 | 0.000988547 |
| Suede | | 0.0347024 | 0.037932804 | 0.017741769 | 0.021081323 | 0.008195926 | 0.003742356 |
| Suisse | 0.039722257 | 0.023194868 | 0.028788512 | 0.013256213 | 0.003059684 | 0.003267362 | 0.003756479 |
| Taiwan | | 0.003596104 | 0.003701315 | 0.005737644 | 0.00222747 | 0.001916386 | 0.000586067 |
| Tanzanie | | | | | 0.001984226 | 0.001481071 | |
| Tchecoslova | | | 0.002838432 | | 0.007252859 | 0.006504703 | 0.002259536 |
| Thailande | | | | 0.004230706 | 0.00622926 | 0.007395347 | 0.00289503 |
| Turquie | | | 0.004823064 | 0.005745702 | 0.021973422 | 0.043266282 | 0.003886402 |
| URSS | 0.105561116 | 0.019207688 | 0.140354781 | 0.118857665 | 0.133635844 | 0.04365156 | 0.058818545 |
| U.S.A | 0.056768422 | 0.201188512 | 0.190733542 | 0.113000152 | 0.085055023 | 0.10554631 | 0.321475477 |
| Venezuela | | | 0.008447173 | 0.005449553 | 0.057711719 | 0.026789369 | 0.010916383 |
| Vietnan | | | | | | 0.006004341 | |
| Yougoslavie | | | 0.006696429 | 0.01988432 | 0.011376271 | 0.001519098 | 0.014446908 |
| Zaire | | 0.004989594 | 0.005972061 | 0.00597134 | 0.009223503 | 0.000342247 | 0.005083956 |
| Zambie | | | | 0.006245328 | 0.005729191 | | |

| Variables normalizadas | | Cuadro A4-3-1 Variables normalizadas para indice equipo | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|--|--------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|---------|
| Año | Num | Ns X1 | POTmed X2 | Cost/Direal X3 | kg/hr:Ws X4 | Disponibil X5 | Marg Reag X6 | Marg Efect X7 | Eficiencia X8 | Mw Turbina W1 | Mw Proyecto W2 | Indice Hg W3 | Indice Hlab W4 | Profilprod W5 | PropartOut W6 | Tasa erect W7 | ANprom C1 | Periodo |
| 1900-30 | | 0.79065784 | 0.1748161 | 1 | 1 | 0.5838311 | 0.92761905 | 0.988001 | 0.92391304 | 0.52484288 | 0.98686049 | 0.139 | 0.139 | 0.63 | 0.329 | 0.80045086 | 0.67089249 | 1900-30 |
| 1920-30 | | 0.90080829 | 0.18657868 | 0.3400399 | 0.65016238 | 0.61791987 | 0.71428571 | 0.988001 | 0.924 | 0.550132 | 0.57624736 | 0.48201439 | 0.70454545 | 1 | 0.65148515 | 0.80045086 | 0.67089249 | 1920-30 |
| 1930-40 | | 0.96694594 | 0.2381957 | 0.12358573 | 0.48985507 | 0.77085479 | 0.94709324 | 0.94905095 | 0.93294131 | 0.5878 | 0.6005951 | 0.30258 | 0.78416127 | 0.93730159 | 0.73861386 | 0.80045086 | 0.52434077 | 1930-40 |
| 1941-50 | | 0.98465052 | 0.24997988 | 0.11544715 | 0.59011805 | 0.88258526 | 0.83714288 | 0.988001 | 0.9338898 | 1 | 0.48406139 | 0.30318742 | 0.86377709 | 0.87460317 | 0.82574257 | 0.46832018 | 0.61992901 | 1941-50 |
| 1956-60 | | 0.89119706 | 0.31632755 | 0.1577333 | 0.60038298 | 0.88258526 | 0.83714288 | 0.988001 | 0.9338898 | 1 | 0.50198859 | 0.39258727 | 0.78416127 | 0.93730159 | 0.73861386 | 0.45907554 | 0.70892485 | 1956-60 |
| 1961-64 | | 0.86755423 | 0.31632755 | 0.1577333 | 0.60038298 | 0.88258526 | 0.83714288 | 0.988001 | 0.9338898 | 0.64742177 | 0.70903589 | 0.6853428 | 0.92923077 | 0.7444444 | 0.78811881 | 0.44983089 | 0.7789047 | 1961-64 |
| 1965-69 | | 0.89004935 | 0.31632755 | 0.1577333 | 0.60038298 | 0.88258526 | 0.83714288 | 0.988001 | 0.9338898 | 0.59834721 | 0.62168308 | 0.8326713 | 0.92923077 | 0.66984125 | 0.88217822 | 0.72491545 | 0.75456389 | 1965-69 |
| 1970-74 | | 0.88854241 | 0.31632755 | 0.1577333 | 0.60038298 | 0.88258526 | 0.83714288 | 0.988001 | 0.9338898 | 0.50802825 | 0.24881654 | 0.94366197 | 0.871875 | 0.5952381 | 0.97623762 | 0.56482525 | 0.6883712 | 1970-74 |
| 1975-85 | | 0.88854241 | 0.31632755 | 0.1577333 | 0.60038298 | 0.88258526 | 0.83714288 | 0.988001 | 0.9338898 | 0.59715447 | 0.17336152 | 0.87544547 | 0.78038195 | 0.80079365 | 0.96415884 | 0.56482525 | 0.6883712 | 1975-85 |
| 1986-92 | | 0.90868115 | 0.31632755 | 0.1577333 | 0.60038298 | 0.88258526 | 0.83714288 | 0.988001 | 0.9338898 | 0.35143541 | 0.20759484 | 0.80722897 | 0.68888889 | 0.81746032 | 0.96207921 | 0.47350602 | 0.78286148 | 1986-92 |

Fuente: R.A.3

Cuadro A5-9-2

Variables normalizadas para índice proceso

| Periodo | Diseño | | Conformación | | Mecanizado | | Otros | | No Trab/maq | | Diseño | | Conformación | | mecanizado | | otros | | Tasa de crec | | SyS/A | | índice costo | |
|---------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----|------------|-----|-------|-----|--------------|----|-------|-----|--------------|--|
| | X1d | X8 | X1c | X10 | X1m | X11 | X12 | X10 | X12 | X2 | X13 | X8 | X1c | X1m | X10 | X11 | X1o | X11 | W2 | W3 | W4 | W13 | W14 | |
| 1900-30 | 0.282178218 | 1 | 0.989247312 | 0.376518219 | 1 | 0.285714286 | 0.56 | 0.834724541 | 1 | 0.818181818 | 0.2125 | 0.968253968 | 0.134228188 | | | | | | | | | | | |
| 1920-30 | 0.455445545 | 0.923076923 | 0.356275304 | 0.285714286 | 0.48 | 0.904841402 | 0.885294118 | 0.881818182 | 0.25 | 0.904761905 | 0.25 | 0.968253968 | 0.201342282 | | | | | | | | | | | |
| 1930-40 | 0.504950495 | 0.897435897 | 0.396761134 | 0.225714286 | 0.416 | 0.936560935 | 0.905882353 | 0.627272727 | 1 | 0.920634921 | 0.5 | 0.920634921 | 0.369127517 | | | | | | | | | | | |
| 1941-50 | 0.569306931 | 0.924731183 | 0.897435897 | 0.425101215 | 0.188571429 | 0.536 | 0.968280467 | 0.852941176 | 0.554545455 | 0.34375 | 0.896825397 | 0.516778523 | | | | | | | | | | | | |
| 1951-55 | 0.589108911 | 0.903225806 | 0.884615385 | 0.433198381 | 0.172857143 | 0.56 | 0.983305509 | 0.826470588 | 0.518181818 | 0.19375 | 0.873015873 | 0.67114094 | | | | | | | | | | | | |
| 1956-60 | 0.613861386 | 0.894623656 | 0.871794872 | 0.44534413 | 0.157142857 | 0.584 | 1 | 0.802941176 | 0.490909091 | 0.159375 | 0.841269841 | 0.765100671 | | | | | | | | | | | | |
| 1961-64 | 0.806930693 | 0.812903226 | 0.779487179 | 0.5951417 | 0.142857143 | 0.608 | 0.879799666 | 0.873529412 | 0.745454545 | 0.090625 | 0.746031746 | 0.926174497 | | | | | | | | | | | | |
| 1965-69 | 1 | 0.731182796 | 0.68974359 | 0.748987854 | 0.128571429 | 0.64 | 0.761268781 | 0.947058824 | 1 | 0.05625 | 0.698412698 | | | | | | | | | | | | | |
| 1970-74 | 0.96039604 | 0.647311828 | 0.735897436 | 0.874493927 | 0.125714286 | 0.816 | 0.823038397 | 0.873529412 | 0.827272727 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1975-85 | 0.920792079 | 0.56344086 | 0.784615385 | 1 | 0.122857143 | 1 | 0.886477462 | 0.802941176 | 0.663636364 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1986-92 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: R-A5-3

Cuadro A5-9-3

VARIABLES NORMALIZADAS PARA INDICE MATERIALES

| ModProporcio Kg/mm2 X1 X14 | Dureza Rel Co/Cr X2d X15 | Bridel X2b X16 | Corrosion Cr/Ni X3 X17 | Maquinab %Pb X4 X18 | Soldadura X5 X19 | Indice acero W1 W16 |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|
| 0.21875 | 0 | | 1 | | 0 | 0.127573529 |
| 0.21875 | 1.066666667 | | 0.923076923 | | 0.4 | 0.106696529 |
| 0.5 | 0.833333333 | | 0.833076923 | | 0.6 | 0.147977941 |
| 0.5 | 0.666666667 | | 0.827692308 | | 0.8 | 0.256433824 |
| 0.5 | 0.833333333 | | 0.828461538 | | 0.8 | 0.278492647 |
| 0.5 | 1 | | 0.823846154 | | 1 | 0.301470588 |
| 1 | 1 | | 0.823846154 | | 1 | 0.439338235 |
| 1 | 1 | | 0.769230769 | | 1 | 0.578125 |
| 1 | 1 | | 0.769230769 | | 1 | 0.788602941 |
| 1 | 1 | | 0.769230769 | | 1 | 1 |

Fuente: R-A5-3

| Cuadro A5-10-1 | |
|------------------------|----------------------|
| Componente H:Ns | |
| Año | H:Ns |
| | X1 |
| 1900-30 | |
| 1920-30 | 6889 |
| 1930-40 | 7847 |
| 1941-45 | 8836 |
| 1946-50 | 8425 |
| 1941-50 | |
| 1930-50 | |
| 1951-55 | 8405 |
| 1956-60 | 7765 |
| 1951-60 | |
| 1961-64 | 7559 |
| 1965-69 | 7755 |
| 1961-70 | |
| 1970-74 | 7829 |
| 1970-80 | |
| 1975-85 | 8713 |
| 1986-92 | 7900 |
| 1981-93 | |
| | |
| Fuente: | |
| | R-A5-3, R-A5-7, A5-8 |
| | A5-42 |

| Cuadro A5-11-1 | |
|--|-----------|
| Potencia media en Kw de turbinas fabricadas | |
| Año | Kw |
| | X2 |
| 1920-30 | 25191 |
| 1930-40 | 28759 |
| 1941-45 | 33298 |
| 1946-50 | 35350 |
| 1951-55 | 35878 |
| 1956-60 | 45871 |
| 1961-64 | 131400 |
| 1965-69 | 144100 |
| 1970-74 | 125900 |
| 1975-85 | 112040 |
| 1986-92 | 88456 |
| Fuente: R-A5-3, R-A5-7, A5-42 | |

Cuadro A5-12-1

Dimensiones de turbinas en México Tons de turbina, rodete

| Planta | Año | Pot (MW) | H (m) | rpm | Turbina(tons) | Rodete(tons) | Diam(m) | Diam estma | Ns | Ton R/Mw |
|---------------|------|----------|-------|-------|---------------|--------------|---------|-------------|----|-------------------|
| Tepexic | 1925 | 15.5 | 193 | 720 | | | | 1 0133139 | | 124.6 |
| Tepuxtepec | 1928 | 26.3 | 191 | 428 | | | | 1 512290853 | | 97.7 |
| Camarassa | 1929 | 17.2 | 78 | | | | | | | |
| Tuxpango | 1929 | 15.4 | 163 | 450 | | 1.8 | 1300 | 1 318562399 | | 96 0 116883117 |
| Terradets | 1932 | 16.8 | 29.5 | | | | | | | |
| Ixtapantongo | 1944 | 29 | 328 | 600 | | 2.7 | 1422 | 1 258083523 | | 73.3 0 093103448 |
| Sta Barbara | 1945 | 24.3 | 246 | 500 | | 2.8 | 1526 | 1 351174662 | | 79.9 0 115226337 |
| Tepuxtepec | 1947 | 28.7 | 184.7 | 428 | | | | 1 545499508 | | 106.4 |
| Patla | 1950 | 15.5 | 179.8 | 600 | | | | 1 513102486 | | 196.5 |
| El Cobano I | 1951 | 30 | 332 | 600 | | 3.35 | 1085 | 1 265731517 | | 73.3 0 111666667 |
| El Cobano II | 1952 | 30 | 332 | 600 | | 3.95 | 1060 | 1 265731517 | | 73.3 0 131666667 |
| Tingambato | 1952 | 49.6 | 380 | 500 | | 4.5 | 166.2 | 1 415912753 | | 82.3 0 090725806 |
| Ixtapantongo | 1952 | 56.7 | 328 | 514 | | 4 | 1727.2 | 1 575020402 | | 87.6 0 070546737 |
| Temazcal | 1955 | 44.8 | 56.5 | 150 | | 21 | 3490 | 3 4827763 | | 205 0 46875 |
| El Fuerte | 1956 | 23.9 | 53.7 | 225 | | 14.5 | 2905 | 2 498890248 | | 239.2 0 606694561 |
| San Bartolo | 1960 | 23.7 | 281 | 600 | | | | 1 204006398 | | 80 |
| El Fuerte III | 1961 | 23.9 | 53.7 | 225 | | 14.2 | 2906 | 2 498890248 | | 239.2 0 594142259 |
| Infernillo | 1961 | 173.1 | 110 | 136 | | 60 | 4760 | 4 887372114 | | 176 0 346620451 |
| El Novillo | 1962 | 44 | 101 | 225 | | 16 | 2050 | 2 745793518 | | 167 0 363636364 |
| El novillo | 1962 | 56 | 101 | 225 | | 15 | 2730 | 2 745793518 | | 167 0 267857143 |
| Sta Rosa | 1964 | 36.8 | 83.3 | 225 | | 11.1 | 2690 | 2 538176123 | | 172.2 0 301630436 |
| Maipaso | 1964 | 218 | 95.5 | 128.5 | | 57 | 5600 | 5 219693321 | | 200.9 0 26146789 |
| La Villita | 1967 | 76.6 | 45.7 | 120 | | 48 | 4359 | 4 795993853 | | 279 0 626631854 |
| Infernillo | 1969 | 198 | 110 | 115 | | 58 | 4900 | 5 169111409 | | 144.3 0 292929293 |
| La Angostura | 1970 | 180 | 102 | 128 | | 62 | 5285 | 5 107114501 | | 182.4 0 344444444 |
| Humaya | 1970 | 65 | 82 | 200 | | | | 3 142977031 | | 204.6 |
| Maipaso | 1974 | 218.4 | 95.5 | 128.8 | | 62 | 5430 | 5 234783451 | | 202.6 0 283882784 |
| Chicoasen | 1977 | 293 | 176 | 163.1 | 950 | 75 | 4208 | 4 536313049 | | 140 0 255972696 |
| El Caracoi | 1981 | 200 | 96 | 128.6 | 200 | 62 | 5228 | 5 074757993 | | 191.3 0.31 |
| Bacurato | 1983 | 50 | 122.2 | 276.9 | 205 | 8.5 | 2507 | 2 325967417 | | 151.8 0.17 |
| Comedero | 1984 | 61 | 103.9 | 225 | 285 | 13.6 | 2940 | 2 972510687 | | 186.6 0 22295082 |
| La Amistad | 1984 | 37.6 | 65.46 | 200 | | | | 2 838927819 | | 208.2 |
| Aguamiipa | 1990 | 325 | 144 | 150 | 840 | 76.5 | 5200 | 4 99226 | | 171.4 0 235384615 |
| Chilatan | 1990 | 24.7 | 84 | 327.3 | 142.3 | | | 1 929631198 | | 202.2 |
| El Retiro | 1991 | 83 | 189 | 720 | | | | 1 694120952 | | 296 |
| Temascal | 1992 | 100 | 41.8 | 125 | 825 | | | 4 791201579 | | 314.5 |
| Huites | 1992 | 211 | 119 | 138 | 850 | 83.1 | 5200 | 4 762561897 | | 161.2 0 393838863 |
| Sta Barbara | 1992 | 25 | | | | 2.8 | 1526 | | | 0 112 |

Turbinas menores de 15MW

| | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|-------|-----|--|------|--------|-------------|-------------|-------------|
| La Venta | 1964 | 6.1 | 37.5 | 300 | | 2.4 | 1750 | 1 623478309 | 252 491689 | 0 393442623 |
| Colotla | 1946 | 2.1 | 65 | 600 | | 1 | 840.2 | 0 774868828 | 148 9769923 | 0 476190476 |
| Tepazoico | 1953 | 6.1 | 98 | 514 | | 0.75 | 1250 | 1 034223072 | 130 1953405 | 0 12295082 |
| El Retiro | 1967 | 8.3 | 189 | 720 | | 0.6 | 805 | 0 877732028 | 93 60397402 | 0 072289157 |
| Sanalao | 1963 | 7.7 | 48.5 | 300 | | | 1607 | 1 616729264 | 205 6787594 | |
| Tuxpango | 1929 | 6.3 | 169 | 400 | | 0.9 | 1100 | 1 209064701 | 52 10409839 | 0 142857143 |
| Tuxpango | 1929 | 9.3 | 169 | 400 | | 1.2 | 1140 | 1 285970966 | 63 30573928 | 0 129032258 |
| Chilapan | 1960 | 4.6 | 97.5 | 514 | | 1.1 | 1163 | 0 964985883 | 113 7853279 | 0 239130435 |
| Chilapan | 1962 | 9.3 | 97.5 | 450 | | 1.8 | 1240 | 1 231364254 | 141 6440117 | 0 193548387 |
| Camilo A | 1966 | 9.61 | 113.5 | 600 | | 1 | 1094 | 1 060350932 | 158 6872522 | 0 104166667 |
| Colimilla | 1950 | 13.4 | 126.7 | 400 | | 2.5 | 1435.1 | 1 384674549 | 108 9285248 | 0 186567164 |
| Pte Grande | 1912 | 2.9 | 71.5 | 450 | | 1.5 | 1181 | 0 954864116 | 116 5544771 | 0 517241379 |
| | 1918 | 5.9 | 71.5 | 360 | | 3.5 | 1655 | 1 275197399 | 132 9982585 | 0 593220339 |
| | 1946 | 13.7 | 71.5 | 300 | | | | 1 743934518 | 168 8880752 | |
| Juntas | 1923 | 3.3 | 62.5 | 450 | | 2.5 | 1210 | 1 006137681 | 147 1022996 | 0 757575758 |
| | 1942 | 5.1 | 62.5 | 450 | | 2.2 | 1380 | 1 138889776 | 182 8721539 | 0 431372549 |
| | 1957 | 4.1 | 62.5 | 450 | | 2 | 1215 | 1 068724532 | 163 9662335 | 0 487804878 |
| Platanal | 1906 | 3.7 | 102.3 | 514 | | 0.7 | 1073 | 0 914933931 | 96 09912622 | 0 189189189 |
| | 1964 | 5.9 | 102 | 600 | | 0.6 | 925 | 0 946487424 | 142 1762455 | 0 101694915 |
| Botello | 1910 | 4.4 | 205.2 | 514 | | 0.62 | 850 | 0 988493506 | 43 90032766 | 0 140909091 |

Fuente: Estadísticas de la industria eléctrica, CFE e información directa.

Cuadro A5-13-1

| Año | Proyecto | Año | Pot (MW) | H (m) | rpm | Turbina(tons) | Rodete(tons) | Diam(m) | Diam estima | Ns | Ton R/Mw | Ns | TonR/Mw | TonR/Mw | |
|------|--|------|----------|-------|-------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| | Dimensiones de turbinas en México Tons de turbina, rodete. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1906 | Platanal | 1906 | 3.7 | 102.3 | 514 | 0.7 | 1073 | 0.914933931 | 96.09912622 | 0.189189169 | 96.09912622 | 189.1891892 | 189.1891892 | 0.189189169 | |
| 1910 | Bojello | 1910 | 4.4 | 205.2 | 514 | 0.62 | 850 | 0.988493506 | 43.90032766 | 0.140909091 | 43.90032766 | 140.9090909 | 140.9090909 | 0.140909091 | |
| 1912 | Pta Grande | 1912 | 2.9 | 71.5 | 450 | 1.5 | 1161 | 0.954894116 | 116.5544771 | 0.517241379 | 116.5544771 | 517.2413793 | 517.2413793 | 0.517241379 | |
| 1918 | | 1918 | 5.9 | 71.5 | 300 | 3.5 | 1655 | 1.275 | 132.99 | 0.59322 | 132.99 | 593.22 | 593.22 | 0.59322 | |
| 1923 | Juntas | 1923 | 3.3 | 62.5 | 450 | 2.5 | 1210 | 1.006137881 | 147.1022996 | 0.757575758 | 147.1022996 | 757.5757576 | 757.5757576 | 0.757575758 | |
| 1929 | Tuxpango | 1929 | 15.4 | 163 | 450 | 1.8 | 1300 | 1.318562399 | 96 | 0.116883117 | 96 | 116.8831169 | 116.8831169 | 0.116883117 | |
| 1929 | Tuxpango | 1929 | 6.3 | 169 | 400 | 0.9 | 1100 | 1.209064701 | 52.10409839 | 0.142857143 | 52.10409839 | 142.8571429 | 142.8571429 | 0.142857143 | |
| 1929 | Tuxpango | 1929 | 9.3 | 169 | 400 | 1.2 | 1140 | 1.285970966 | 63.30573928 | 0.129032258 | 63.30573928 | 129.0322581 | 129.0322581 | 0.129032258 | |
| 1929 | Tuxpango | 1929 | 5.1 | 62.5 | 450 | 2.2 | 1380 | 1.138889776 | 182.8721539 | 0.431372549 | 182.8721539 | 431.372549 | 431.372549 | 0.431372549 | |
| 1942 | Ixtapantongo | 1942 | 2.9 | 328 | 600 | 2.7 | 1422 | 1.25803523 | 73.3 | 0.093103448 | 73.3 | 93.10344828 | 93.10344828 | 0.093103448 | |
| 1944 | Sta Barbara | 1944 | 24.3 | 246 | 500 | 2.8 | 1528 | 1.351174662 | 79.9 | 0.115228337 | 79.9 | 115.2283374 | 115.2283374 | 0.115228337 | |
| 1945 | Colotipa | 1945 | 2.1 | 65 | 600 | 1 | 840.2 | 0.774888828 | 148.9769923 | 0.476190476 | 148.9769923 | 476.1904762 | 476.1904762 | 0.476190476 | |
| 1950 | Colimilla | 1950 | 13.4 | 126.7 | 400 | 2.5 | 1435.1 | 1.384674549 | 108.9285248 | 0.186587164 | 108.9285248 | 186.5871642 | 186.5871642 | 0.186587164 | |
| 1951 | El Cobano I | 1951 | 30 | 332 | 600 | 3.35 | 1085 | 1.265731517 | 73.3 | 0.116866667 | 73.3 | 116.8666667 | 116.8666667 | 0.116866667 | |
| 1952 | El Cobano II | 1952 | 30 | 332 | 600 | 3.95 | 1080 | 1.265731517 | 73.3 | 0.131666667 | 73.3 | 131.6666667 | 131.6666667 | 0.131666667 | |
| 1952 | Tingambato | 1952 | 49.6 | 380 | 600 | 4.5 | 168.2 | 1.415912753 | 82.3 | 0.090725806 | 82.3 | 90.72580645 | 90.72580645 | 0.090725806 | |
| 1952 | Ixtapantongo | 1952 | 56.7 | 328 | 514 | 4 | 1727.2 | 1.575020402 | 87.6 | 0.070548737 | 87.6 | 70.54873721 | 70.54873721 | 0.070548737 | |
| 1953 | Tepezalco | 1953 | 6.1 | 88 | 514 | 0.75 | 1250 | 1.034223072 | 130.1953405 | 0.12295082 | 130.1953405 | 122.9508197 | 122.9508197 | 0.12295082 | |
| 1955 | Temazcal | 1955 | 44.8 | 56.5 | 150 | 2.1 | 3490 | 3.4827763 | 205 | 0.46875 | 205 | 468.75 | 468.75 | 0.46875 | |
| 1956 | El Fuerte | 1956 | 23.9 | 53.7 | 225 | 14.5 | 2905 | 2.498890248 | 239.2 | 0.606694561 | 239.2 | 606.6945607 | 606.6945607 | 0.606694561 | |
| 1957 | Chiapan | 1957 | 4.1 | 62.5 | 450 | 2 | 1215 | 1.068724532 | 163.9662335 | 0.487804878 | 163.9662335 | 487.804878 | 487.804878 | 0.487804878 | |
| 1960 | El Fuerte III | 1960 | 23.9 | 53.7 | 225 | 1.1 | 1163 | 0.964985883 | 113.7853279 | 0.239130435 | 113.7853279 | 239.1304348 | 239.1304348 | 0.239130435 | |
| 1961 | Infiernillo | 1961 | 4.4 | 101 | 514 | 14.2 | 2906 | 2.498890248 | 178 | 0.346620451 | 178 | 346.6204506 | 346.6204506 | 0.346620451 | |
| 1962 | El Novillo | 1962 | 56 | 101 | 225 | 60 | 4760 | 4.887372114 | 167 | 0.363836364 | 167 | 363.8363636 | 363.8363636 | 0.363836364 | |
| 1962 | Chiapan | 1962 | 9.3 | 97.5 | 450 | 16 | 2050 | 2.745793518 | 167 | 0.267857143 | 167 | 267.8571429 | 267.8571429 | 0.267857143 | |
| 1964 | Sta Rosa | 1964 | 36.8 | 83.3 | 225 | 15 | 2730 | 2.745793518 | 141.6440117 | 0.193548387 | 141.6440117 | 193.5483871 | 193.5483871 | 0.193548387 | |
| 1964 | Malpaso | 1964 | 218 | 95.5 | 128.5 | 1.3 | 1240 | 1.231364254 | 172.2 | 0.301630435 | 172.2 | 301.6304348 | 301.6304348 | 0.301630435 | |
| 1964 | La Venta | 1964 | 6.1 | 37.5 | 300 | 11.1 | 2690 | 2.538176123 | 200.9 | 0.26146769 | 200.9 | 261.4676899 | 261.4676899 | 0.26146769 | |
| 1964 | Cemilo A | 1964 | 5.9 | 102 | 600 | 2.4 | 5900 | 5.219893321 | 252.491869 | 0.393442623 | 252.491869 | 393.442623 | 393.442623 | 0.393442623 | |
| 1966 | La Villita | 1966 | 9.6 | 113.5 | 600 | 0.6 | 1750 | 1.823478309 | 142.1762455 | 0.101694915 | 142.1762455 | 101.6949153 | 101.6949153 | 0.101694915 | |
| 1967 | El Retiro | 1967 | 76.8 | 45.7 | 120 | 0.6 | 925 | 0.946487424 | 158.6872522 | 0.104166667 | 158.6872522 | 104.1666667 | 104.1666667 | 0.104166667 | |
| 1967 | Infiernillo | 1967 | 8.3 | 189 | 720 | 58 | 4359 | 4.795993853 | 279 | 0.626631854 | 279 | 626.6318538 | 626.6318538 | 0.626631854 | |
| 1969 | La Angostura | 1969 | 180 | 102 | 115 | 62 | 4900 | 5.169111409 | 93.80397402 | 0.072269157 | 93.80397402 | 72.26915663 | 72.26915663 | 0.072269157 | |
| 1970 | Malpaso | 1970 | 218.4 | 95.5 | 128.8 | 62 | 5285 | 5.107114501 | 144.3 | 0.292929293 | 144.3 | 292.9292929 | 292.9292929 | 0.292929293 | |
| 1974 | Chicoasen | 1974 | 293 | 176 | 163.1 | 75 | 4208 | 4.536313049 | 182.4 | 0.263862784 | 182.4 | 263.8627839 | 263.8627839 | 0.263862784 | |
| 1977 | El Caracol | 1977 | 200 | 96 | 128.6 | 65 | 5228 | 5.074757993 | 191.3 | 0.31 | 191.3 | 310 | 310 | 0.31 | |
| 1981 | Bacurato | 1981 | 50 | 122.2 | 276.9 | 200 | 2507 | 2.325987417 | 151.8 | 0.17 | 151.8 | 170 | 170 | 0.17 | |
| 1983 | Comedero | 1983 | 61 | 103.9 | 225 | 205 | 2940 | 2.972510687 | 186.6 | 0.22295082 | 186.6 | 222.9508197 | 222.9508197 | 0.22295082 | |
| 1984 | Huites | 1984 | 325 | 144 | 150 | 840 | 5200 | 4.99226 | 171.4 | 0.235384615 | 171.4 | 235.3846154 | 235.3846154 | 0.235384615 | |
| 1990 | | 1990 | 211 | 119 | 136 | 850 | 5200 | 4.782581897 | 161.2 | 0.393638683 | 161.2 | 393.6386826 | 393.6386826 | 0.393638683 | |
| 1992 | | 1992 | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Información directa

| TonRWIplico | Ne estimada | | Ne est | | Distancia | | 1940-50 | | 1951-60 | | 1961-74 | | 1975-92 | | 1975-90 | |
|-------------|-------------|------------|------------|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | 1900-29 | 1940-50 | 1940-50 | 1940-50 | 1900-29 | 1900-29 | 1940-50 | 1940-50 | 1951-60 | 1951-60 | 1961-74 | 1961-74 | 1975-92 | 1975-92 | 1975-90 | 1975-90 |
| 0.05 | 0.238678 | 0.7084685 | 0.4344145 | 0.54082 | 0.59175 | 0.737955 | 0.710230678 | 0.437282469 | 0.543126387 | 0.593858622 | 0.739646931 | 0.593858622 | 0.593858622 | 0.739646931 | 0.593858622 | 0.739646931 |
| 0.075 | 0.241912 | 0.71450275 | 0.44132175 | 0.547215 | 0.592625 | 0.7444325 | 0.71842827 | 0.44764929 | 0.552330749 | 0.597351982 | 0.748201007 | 0.597351982 | 0.597351982 | 0.748201007 | 0.597351982 | 0.748201007 |
| 0.1 | 0.245146 | 0.720537 | 0.448229 | 0.55361 | 0.5936 | 0.75091 | 0.727443172 | 0.459248556 | 0.562569136 | 0.601865641 | 0.757539324 | 0.601865641 | 0.601865641 | 0.757539324 | 0.601865641 | 0.757539324 |
| 0.125 | 0.24838 | 0.72657125 | 0.45513625 | 0.56006 | 0.594375 | 0.7573875 | 0.737245401 | 0.471989413 | 0.573786197 | 0.607376852 | 0.7678453427 | 0.607376852 | 0.607376852 | 0.7678453427 | 0.607376852 | 0.7678453427 |
| 0.15 | 0.251614 | 0.7326055 | 0.4620436 | 0.5664 | 0.59525 | 0.763865 | 0.747803997 | 0.485782046 | 0.585925729 | 0.613858748 | 0.789669979 | 0.613858748 | 0.613858748 | 0.789669979 | 0.613858748 | 0.789669979 |
| 0.175 | 0.254848 | 0.73863975 | 0.46895075 | 0.572795 | 0.596125 | 0.7703425 | 0.7590874 | 0.500539515 | 0.598931642 | 0.621280947 | 0.802152923 | 0.621280947 | 0.621280947 | 0.802152923 | 0.621280947 | 0.802152923 |
| 0.2 | 0.258082 | 0.744874 | 0.475958 | 0.57919 | 0.597 | 0.77682 | 0.771063789 | 0.516179074 | 0.612748771 | 0.629610197 | 0.814972376 | 0.629610197 | 0.629610197 | 0.814972376 | 0.629610197 | 0.814972376 |
| 0.225 | 0.261316 | 0.75070825 | 0.48276525 | 0.585685 | 0.597875 | 0.7832975 | 0.783701395 | 0.532623025 | 0.627323515 | 0.639811017 | 0.828398787 | 0.639811017 | 0.639811017 | 0.828398787 | 0.639811017 | 0.828398787 |
| 0.25 | 0.26455 | 0.7567425 | 0.4896725 | 0.59198 | 0.59875 | 0.789775 | 0.796668764 | 0.549799197 | 0.642604326 | 0.649846332 | 0.842403136 | 0.649846332 | 0.649846332 | 0.842403136 | 0.649846332 | 0.842403136 |
| 0.275 | 0.267784 | 0.76277675 | 0.49657975 | 0.598375 | 0.599625 | 0.7962525 | 0.810634983 | 0.567641126 | 0.658542057 | 0.669678058 | 0.856957089 | 0.669678058 | 0.669678058 | 0.856957089 | 0.669678058 | 0.856957089 |
| 0.3 | 0.271018 | 0.768811 | 0.503487 | 0.60477 | 0.6005 | 0.80273 | 0.825269967 | 0.586088013 | 0.675090181 | 0.671267644 | 0.872033129 | 0.675090181 | 0.675090181 | 0.872033129 | 0.675090181 | 0.872033129 |
| 0.325 | 0.274252 | 0.77484525 | 0.51039425 | 0.611165 | 0.601375 | 0.8092075 | 0.840244108 | 0.605084532 | 0.692204924 | 0.683676543 | 0.887604653 | 0.692204924 | 0.692204924 | 0.887604653 | 0.692204924 | 0.887604653 |
| 0.36 | 0.277486 | 0.7808795 | 0.5173015 | 0.61756 | 0.60225 | 0.815685 | 0.85729393 | 0.624580533 | 0.709845303 | 0.696566625 | 0.903646046 | 0.709845303 | 0.709845303 | 0.903646046 | 0.709845303 | 0.903646046 |
| 0.375 | 0.28072 | 0.78691375 | 0.52420875 | 0.623955 | 0.603125 | 0.8221625 | 0.871698486 | 0.644530693 | 0.727973105 | 0.710200611 | 0.920132736 | 0.727973105 | 0.727973105 | 0.920132736 | 0.727973105 | 0.920132736 |
| 0.4 | 0.283954 | 0.792948 | 0.531116 | 0.63035 | 0.604 | 0.82864 | 0.88812529 | 0.664894131 | 0.746552826 | 0.724441854 | 0.937041215 | 0.746552826 | 0.746552826 | 0.937041215 | 0.746552826 | 0.937041215 |
| 0.425 | 0.287188 | 0.79898225 | 0.53802325 | 0.636745 | 0.604875 | 0.8361175 | 0.904984882 | 0.685634026 | 0.765551563 | 0.739255548 | 0.954349068 | 0.765551563 | 0.765551563 | 0.954349068 | 0.765551563 | 0.954349068 |
| 0.45 | 0.290422 | 0.8050165 | 0.5449005 | 0.64314 | 0.60575 | 0.841596 | 0.922253525 | 0.706717235 | 0.784639889 | 0.754607887 | 0.97034961 | 0.784639889 | 0.784639889 | 0.97034961 | 0.784639889 | 0.97034961 |
| 0.475 | 0.293656 | 0.81105075 | 0.55183775 | 0.649535 | 0.606625 | 0.8480725 | 0.939908676 | 0.728113935 | 0.804688719 | 0.770466671 | 0.990078635 | 0.804688719 | 0.804688719 | 0.990078635 | 0.804688719 | 0.990078635 |
| 0.5 | 0.29689 | 0.817085 | 0.558745 | 0.65593 | 0.6075 | 0.85465 | 0.957928963 | 0.749797289 | 0.824769159 | 0.786801277 | 1.027163534 | 0.824769159 | 0.824769159 | 1.027163534 | 0.824769159 | 1.027163534 |
| 0.55 | 0.303358 | 0.8291535 | 0.5725595 | 0.66872 | 0.60925 | 0.867505 | 16.56363623 | 11.75810381 | 13.55534553 | 13.57050646 | 17.19041222 | 13.55534553 | 13.55534553 | 17.19041222 | 13.55534553 | 17.19041222 |

Cuadro A5-13-2

| Cuadro A5-14 | |
|-----------------------|--------------------------|
| Disponibilidad | |
| Año | Disponibil X5 |
| 1900-30 | |
| 1920-30 | 0.5669 |
| 1930-40 | 0.6 |
| 1941-45 | 0.787 |
| 1946-50 | 0.71 |
| 1941-50 | |
| 1930-50 | |
| 1951-55 | 0.857 |
| 1956-60 | 0.971 |
| 1951-60 | |
| 1961-64 | 0.897 |
| 1965-69 | 0.835 |
| 1961-70 | |
| 1970-74 | 0.898 |
| 1970-80 | |
| 1975-85 | 0.925 |
| 1986-92 | 0.925 |
| 1981-93 | |
| Fuente: R-A5-4 | |

Cuadro A5-15-1

Costo de Mw turbina fabricada

| Costo de la turbina por Kw México | Pot unit(mw) | Pot unit(mw) Nafi-Onudi | Alt (m) | Lec-V2 milesUS dlls82 | CFE | Contratos | Fabricante milesUsDlI82 | Nafi-Onudi | Curva | Kw/UsdlI82 |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------|---------|-----------------------|--------|-----------|-------------------------|------------|-------|------------|
| Inset | 44.4 | | 185.8 | | | | 652.28 | | | 0.068068 |
| Chavantes | 106 | | 73.7 | | | | 2405.449 | | | 0.0440666 |
| Angostura | 180 | | 110 | | | | 4412.08 | | | 0.04079708 |
| La Angostura | 180 | 180 | 110 | | | | | 2824.9 | 8208 | 0.06371907 |
| Humaya | 65 | | 82 | | | | | | | 0.0079191 |
| Malpaso | 218.4 | 180 | 95.5 | | | | | 5226.8 | | 0.0344379 |
| Chicoasén | 293 | 300 | 176 | | | | | 6365.8 | | 0.04712683 |
| Chicoasén | 110 | | 176 | | | | 8139.1 | | | 0.03599907 |
| Pefitas | 200 | 100 | 176 | | | 5219.6 | | 6937.6 | | 0.01441421 |
| Caracol | 200 | | 96 | | | | | | | 0.03831711 |
| Caracol | 200 | 190 | 96 | | | | | 9018.9 | | 0.0432554 |
| Caracol | 50 | 21 | 122 | | | | | 1389.9 | | 0.02106687 |
| Bacurato | 61 | 45 | 103.9 | | | | | 1757.8 | | 0.015109 |
| Comedero | 37.6 | 20 | 65.4 | | | | | 448.6 | | 0.02560018 |
| La Amistad | 120 | | | | | | | | | 0.04458315 |
| Aggua Prieta | 325 | | 144 | | | | | | | 0.03432887 |
| Aguamilpa | 325 | | 144 | | | | | | | 0.02538071 |
| Aguamilpa | 325 | 180 | 144 | | | | | 8325.1 | | 0.02162136 |
| Chilatán | 24.7 | | 84 | | 3031.7 | | | | | 0.00814724 |
| El Retiro | 83 | | 189 | | | | | | | |
| Itzantun | 170 | | | | | | | | | |
| Temascal | 200 | | 41.8 | | | 8319 | | | | 0.02404135 |
| Temascal | 200 | 77 | 41.8 | | | | | 1665 | | 0.04624625 |
| Huites | 211 | | 119 | | | 10058.3 | | | | 0.0209777 |
| Tecate | 25 | 45 | | | | | | 1185.4 | | 0.03796187 |
| Sta Barbara | 120 | | | | | | | | | |
| Zimapán | 300 | | | | | 197.9 | | | | |
| Cajones | | | | | | 118.3 | | | | |

Fuente: RA5-3, CFE, Información directa de fabricantes.

| Cuadro A5-16-1 | | | | | | | | |
|--|---------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|
| Costo Mw proyecto hidroelectrico | | | | | | | | |
| Dólares de costo de proyecto total por Kw instalado en USA | | | | | | | | |
| Planta | año | Pot (MW) | Altura(ft) | US\$78/Kw | US\$82/kw | Nafi-Onudi | | |
| | | | | | | US\$82/kw | Pot (MW) | US\$82/kw |
| Wilson | 1925 | 630 | 88 | 83 | 118.939 | | 630 | 902.79 |
| Conowingo | 1928 | 477 | 87 | 157 | 224.981 | | 477 | 683.541 |
| Rock Island | 1933 | 213 | 49 | 261 | 374.013 | | 213 | 305.229 |
| Hoover | 1936 | 1345 | 530 | | 0 | | 1345 | 1927.385 |
| Bonneville | 1938 | 518 | 57 | 173 | 247.909 | | 518 | 742.294 |
| Gran Coulee | 1941 | 4763 | 333 | 203 | 290.899 | | 4763 | 6825.379 |
| Shasta | 1944 | 452 | 480 | 44 | 63.052 | | 452 | 647.716 |
| Ross | 1952 | 360 | 395 | 297 | 425.601 | | 360 | 515.88 |
| McNary | 1953 | 986 | 88 | 270 | 386.91 | | 986 | 1412.938 |
| Chief Joseph | 1955 | 1689 | 171 | 204 | 292.332 | | 1689 | 2420.337 |
| Garnson | 1956 | 430 | 172 | 390 | 558.87 | | 430 | 616.19 |
| Dalles | 1957 | 1125 | 86 | 153 | 219.249 | | 1125 | 1612.125 |
| R. Moses S. | 1958 | 912 | 81.3 | 245 | 351.085 | | 912 | 1306.896 |
| Brownlee | 1959 | 360 | 277 | 191 | 273.703 | | 360 | 515.88 |
| Noxon Rapids | 1959 | 397 | 152 | 260 | 372.58 | | 397 | 568.901 |
| Pnest Rapids | 1960 | 789 | 76 | | 0 | | 789 | 1130.637 |
| Rocky Reach | 1961 | 1213 | 92 | 197 | 282.301 | | 1213 | 1738.229 |
| R. Moses. N. | 1961 | 2196 | 310 | 86 | 123.238 | | 2196 | 3146.868 |
| Oahe | 1961 | 595 | 193 | 333 | 477.189 | | 595 | 852.635 |
| Ice Harbor | 1961 | 603 | 998 | 213 | 305.229 | | 603 | 864.099 |
| Wanapum | 1962 | 974 | 79 | 188 | 269.404 | | 974 | 1395.742 |
| Glen Canyon | 1964 | 950 | 558 | 199 | 285.167 | | 950 | 1361.35 |
| Big Bend | 1965 | 468 | 67 | 233 | 333.889 | | 468 | 670.644 |
| Smith Mount | 1965 | 432 | 192 | 119 | 170.527 | | 432 | 619.056 |
| Wells | 1967 | 774 | 67 | 245 | 351.085 | | 774 | 1109.142 |
| Boundry | 1967 | 551 | 261 | 145 | 207.785 | | 551 | 789.583 |
| Hells Canyon | 1967 | 392 | 210 | 168 | 240.744 | | 392 | 561.736 |
| John Day | 1968 | 2160 | 100 | 178 | 255.074 | | 2160 | 3095.28 |
| L. Monument | 1969 | 405 | 100 | 371 | 531.643 | | 405 | 580.365 |
| Little Goose | 1970 | 810 | 98 | 214 | 306.662 | | 810 | 1160.73 |
| Dwarshak | 1973 | 400 | 632 | 706 | 1011.698 | | 400 | 573.2 |
| Lower Granite | 1975 | 810 | | 376 | 538.808 | | 810 | 1160.73 |
| Libby Dam | 1975 | 420 | 300 | 979 | 1402.907 | | 420 | 601.86 |
| Federal Power Projects 1976 | | | | | | | | |
| GW | | | | | | | | |
| Hoover & P-D | 1930 | 1.7 | | 137 | 225.365 | | | |
| Tennessee V | 1930-40 | 3.2 | | 299 | 491.855 | | | |
| Central Valley | 1940 | 1.14 | | 209 | 343.805 | | | |
| Columbia B | 1950 | 13.44 | | 395 | 649.775 | | | |
| South Pow A | 1950 | 2.4 | | 380 | 625.1 | | | |
| South Pow a | 1950 | 1.85 | | 365 | 600.425 | | | |
| Missouri B | 1960 | 2.67 | | 505 | 830.725 | | | |
| Others | | 1.34 | | 601 | 988.645 | | | |
| Tot Average | | 27.7 | | 343 | 564.23 | | | |
| Proyectos en México | | | | | | | | |
| US\$89/Kw | | | | | | | | |
| Chicoasén | 1980 | 1500-2400 | 251.7 | 1075 | 946 | | 133 | |
| Peñitas | 1986 | 420 | 53 | 1282.4 | 1128.512 | | 356 | |
| Caracol | 1986 | 600 | 126 | 991.5 | 872.52 | | 317 | |
| Bacurato | 1986 | 100 | | 733.4 | 645.392 | | 440 | |
| La Amistad | 1986 | 67 | | 506.2 | 445.453 | | 169 | |
| Comedero | 1987 | 110 | | 687.7 | 605.173 | | 254 | |
| Agua Prieta | 1989 | 240 | | 540 | 475.2 | | | |
| Agua Milpa | 1992 | 960 | 175 | 830 | 730.4 | | 279 | |
| Temazcal Re | 1992 | 200 | | | 0 | | | |
| Zimapán | 1993 | 240 | 162 | 1298.6 | 1142.768 | | | |

Fuente CFE, RA5-3 Información directa

Cuadro A5-17

Participación de los MW instalados por los principales fabricantes en porcentaje

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A-Ch | 0.1517 | 0.2311 | 0.1742 | 0.0725 | 0.0454 | 0.0636 | 0.1275 |
| E-W | 0.1476 | 0.0385 | 0.0497 | 0.0933 | 0.036 | 0.061 | 0.0293 |
| Neypic | 0.0324 | 0.0381 | 0.1105 | 0.1244 | 0.0998 | 0.161 | 0.0014 |
| Toshiba | 0.0121 | 0.0665 | 0.003 | 0.0354 | 0.0394 | 0.0556 | 0.0662 |
| Vorth | 0.193 | 0.0814 | 0.0597 | 0.0576 | 0.1042 | 0.0697 | 0.0241 |
| Hitachi | | 0.0167 | 0.019 | 0.0518 | 0.1092 | 0.1349 | 0.1171 |
| Kvaerner | | 0.0155 | 0.0419 | 0.0659 | 0.0419 | 0.0543 | 0.0006 |
| Mitsubishi | | 0.0026 | 0.0402 | 0.0408 | 0.0397 | 0.0266 | 0.025 |
| Hydroart | 0.007 | 0.0038 | 0.0108 | 0.0202 | 0.023 | 0.0276 | 0.0114 |
| Nohab | | 0.0073 | 0.0211 | 0.0212 | 0.0042 | 0.0025 | 0.0044 |
| Vevey | | 0.0493 | 0.0532 | 0.026 | 0.011 | 0.0128 | 0.0037 |
| Voest | | 0.0167 | 0.0408 | 0.0208 | 0.0154 | 0.0225 | 0.0345 |
| Fujii | | | 0.0023 | 0.0074 | 0.0112 | 0.0158 | 0.0156 |
| Boving | 0.0064 | 0.0357 | 0.0269 | 0.0222 | 0.0207 | 0.0004 | |
| DEW | 0.1708 | 0.1411 | 0.0474 | 0.0588 | 0.0622 | | |
| KMF | 0.0037 | 0.0225 | 0.0303 | 0.0093 | 0.0144 | 0.0053 | 0.0022 |
| English Elec | 0.01 | 0.0095 | 0.0116 | 0.0014 | 0.0068 | 0.0021 | 0.0606 |
| Riva | 0.0569 | 0.0336 | 0.0236 | 0.0035 | 0.0028 | 0.0004 | 0.0078 |
| Tampella | 0.0147 | 0.0037 | | | | | |
| Tosi | 0.0095 | 0.0337 | 0.022 | 0.0053 | | | 0.0013 |
| Baldwin-Lima | | 0.0879 | 0.0137 | 0.0098 | | | 0.018 |
| Boving-KMF | | 0.0332 | 0.0063 | 0.0118 | 0.0051 | 0.0006 | |
| Creusot-L | 0.0168 | | 0.0012 | | | | 0.036 |
| Mil | | | | 0.0572 | 0.0191 | 0.0058 | |
| Suma | 0.8326 | 0.9684 | 0.8094 | 0.8166 | 0.7115 | 0.7225 | 0.5867 |
| Varianza | 0.004780742 | 0.002805829 | 0.001495817 | 0.000999749 | 0.001082588 | 0.001987948 | 0.001329336 |
| Indice H | 0.1394124 | 0.2214448 | 0.1007755 | 0.067449 | 0.0713542 | 0.083307 | |
| Total MW | 5296.6 | 21510.2 | 43582 | 102045 | 166426 | 95527 | 68918.6 |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| En MW | | | | | | | |
| A-Ch | 803.49 | 4971.01 | 7591.98 | 7398.26 | 7555.74 | 6075.52 | 8787.12 |
| E-W | 781.78 | 828.14 | 2166.03 | 9520.80 | 5991.34 | 5827.15 | 2019.31 |
| Neypic | 171.61 | 819.54 | 4815.81 | 12694.40 | 16609.31 | 15379.85 | 96.49 |
| Toshiba | 64.09 | 1430.43 | 130.75 | 3612.39 | 6557.18 | 5311.30 | 4562.41 |
| Vorth | 1022.24 | 1750.93 | 2601.85 | 5877.79 | 17341.59 | 6658.23 | 1660.94 |
| Hitachi | | 359.22 | 828.06 | 5285.93 | 18173.72 | 12886.59 | 8070.37 |
| Kvaerner | | 333.41 | 1826.09 | 6724.77 | 6973.25 | 5187.12 | 41.35 |
| Mitsubishi | | 55.93 | 1752.00 | 4163.44 | 6607.11 | 2541.02 | 1722.97 |
| Hydroart | 37.08 | 81.74 | 470.69 | 2061.31 | 3827.80 | 2636.55 | 785.67 |
| Nohab | | 157.02 | 919.58 | 2163.35 | 698.99 | 238.82 | 303.24 |
| Vevey | | 1060.45 | 2318.56 | 2653.17 | 1830.69 | 1222.75 | 255.00 |
| Voest | | 359.22 | 1778.15 | 2122.54 | 2562.96 | 2149.36 | 2377.69 |
| Fujii | | | 100.24 | 755.13 | 1863.97 | 1509.33 | 1075.13 |
| Boving | 33.90 | 767.91 | 1172.36 | 2265.40 | 3445.02 | 38.21 | |
| DEW | 904.66 | 3035.09 | 2065.79 | 6000.25 | 10351.70 | | |
| KMF | 19.60 | 483.98 | 1320.53 | 949.02 | 2396.53 | 506.29 | 151.62 |
| English Elec | | 204.35 | 505.55 | 142.86 | 1131.70 | 200.61 | 4176.47 |
| Riva | 301.38 | 722.74 | 1028.54 | 357.16 | 465.99 | 38.21 | 537.57 |
| Tampella | 77.86 | 79.59 | | | | | |
| Tosi | 50.32 | 724.89 | 958.80 | 540.84 | | | 89.59 |
| Baldwin-Lima | | 1890.75 | 597.07 | 1000.04 | | | 1240.53 |
| Boving-KMF | | 714.14 | 274.57 | 1204.13 | 848.77 | 57.32 | |
| Creusot-L | 88.98 | | 52.30 | | | | 2481.07 |
| Mil | | | | 5836.97 | 3178.74 | 554.06 | |
| | 88.98 | 8623.44 | 8712.42 | 5836.97 | 3178.74 | 554.06 | 9569.77 |

Cuadro A-5-18

| Fabricante | Participación de los grupos de fabricantes de turbinas en el total mundial por grupos | | | | | | |
|--------------|---|------------|------------|------------|------------|-----------|--|
| | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | |
| Grand Fabric | 0.567 | 0.489 | 0.476 | 0.534 | 0.513 | 0.606 | |
| Gpo 2 | 0.0066 | 0.0792 | 0.125 | 0.097 | 0.0676 | 0.081 | |
| Gpo 3 | 0.195 | 0.201 | 0.107 | 0.087 | 0.101 | 0.0072 | |
| Gpo Italiano | 0.079 | 0.0659 | 0.0404 | 0.08 | 0.0025 | 0.0003 | |
| Gpo 5 | 0.018 | 0.129 | 0.0216 | 0.083 | 0.0259 | 0.006 | |
| Gpo Soc | 0.129 | 0.0038 | 0.145 | 0.163 | 0.1905 | 0.092 | |
| Gpo Asia | | | 0.044 | 0.019 | 0.0098 | 0.072 | |
| Otras | | | 0.0001 | 0.006 | 0.072 | 0.138 | |
| S/N | 0.097 | 0.031 | 0.044 | 0.003 | 0.016 | 0.004 | |
| Varianza | 0.03170648 | 0.02360155 | 0.01876052 | 0.02385677 | 0.02330105 | 0.0326703 | |
| Indice H | 0.396469 | 0.323525 | 0.27995 | 0.32582 | 0.308 | 0.40514 | |

| Cuadros A 5-19 | | | | | | | |
|--|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Mw instalados en SUECIA por fabricantes nacionales e internacionales | | | | | | | |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| KMW | | 193.9 | 391.5 | 656 | 1739.5 | 32 | 151 |
| Nohab | | 103.4 | 739 | 927.2 | 447 | 156.8 | 70 |
| Voith-Riva | | | | | | | 38 |
| KMW-Boving | | 474.7 | 540 | | 131.6 | 56 | |
| Kvaerner | | | | 184.5 | 1168.2 | 574.2 | |
| suma | | 772 | 1670.5 | 1767.7 | 3486.3 | 819 | 265 |
| % de Mw instalados | | | | | | | |
| KMW | | 0.251165803 | 0.23436097 | 0.371103694 | 0.498953045 | 0.039072039 | |
| Nohab | | 0.133937824 | 0.44238252 | 0.524523392 | 0.12821616 | 0.191452991 | |
| Voith-Riva | | | | | | | |
| KMW-Boving | | 0.614896373 | 0.32325651 | | 0.037747756 | 0.068376068 | |
| Kvaerner | | | | 0.104372914 | 0.335083039 | 0.701098901 | |
| n | | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | |
| Varianza | | 0.041929273 | 0.007262932 | 0.030134371 | 0.032274765 | 0.071098957 | |
| Indice H | | 0.45912114 | 0.355122123 | 0.42373644 | 0.37909908 | 0.53439584 | |

Cuadros A5-19

MW instalados en NORUEGA por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|---------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Kvaerner | | 413.1 | 1764.7 | 4916.1 | 4755.2 | 2400.8 | 49 |
| E-W | 44.2 | 59.5 | | | 55 | 22.2 | 170.5 |
| A-Ch | | 16 | | | | | |
| Voith | | 17.7 | 169.6 | 22 | | 119.4 | |
| Neyrpic | | | 78.2 | | | | |
| Nohab | | | 164.2 | 390.5 | | | |
| Voest | | | 17.6 | | | | |
| KMW | | | | 103 | | | |
| De Pretto | | | | | | 86 | |
| Suma | 44.2 | 506.3 | 2194.3 | 5486.6 | 4777.4 | 2606.2 | 219.5 |
| % de Mw instalados | | | | | | | |
| Kvaerner | 1 | 0.815919415 | 0.804220025 | 0.896019393 | 0.995353121 | 0.921187936 | |
| E-W | | 0.117519257 | | 0.010024423 | 0.004646879 | | |
| A-Ch | | 0.031601817 | | | | | |
| Voith | | 0.03495951 | 0.077291163 | 0.004009769 | | 0.045813829 | |
| Neyrpic | | | 0.035637789 | | | | |
| Nohab | | | 0.074830242 | 0.071173404 | | | |
| Voest | | | 0.008020781 | | | | |
| KMW | | | | 0.018773011 | | | |
| De Pretto | | | | | | 0.032998235 | |
| n | 1 | 4 | 5 | 5 | 2 | 3 | |
| varianza | 0 | 0.107939028 | 0.091935544 | 0.12167703 | 0.245374714 | 0.17281389 | |
| | | 0.143918703 | 0.11491943 | 0.15209635 | 0.490749429 | 0.259220836 | |
| Indice H | 1 | 0.68175612 | 0.6596777 | 0.8083854 | 0.990749421 | 0.851775 | |
| | | 0.8256748 | 0.77459715 | 0.9604817 | | | |

| Cuadros A5-19 | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| MW Instalados en Francia por fabricantes nacionales e internacionales | | | | | | | |
| Fabricante | 1901-1930 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| Nevpic | 174.7 | 736 | 800.2 | 145.7 | 1520 | 308.9 | 98.6 |
| Creusot-L | 130 | 464 | 737 | 391 | 493 | | |
| Vevey | | 674 | 605 | 650 | | 34 | 210.5 |
| E-W | 112.6 | 19.5 | 21.6 | | | | |
| Voith | 114.9 | | | | | | |
| Tosi | | | 231.6 | | | | |
| Riva | | | 364.2 | 187 | | | |
| Hidroart | | | 245.8 | 195 | | | |
| Charmiles | | | | 28.9 | | | |
| Suma | 532.2 | 1893.5 | 3005.4 | 1597.6 | 2013 | 342.9 | 309.1 |
| Nota: Se ajusto Creusot-L proporcional al total instalado hasta 1980. | | | | | | | |
| Nevpic | 0.328260053 | 0.388698178 | 0.266254076 | 0.091199299 | 0.755091903 | 0.900845728 | 0.039013967 |
| Creusot-L | 0.244269072 | 0.245048851 | 0.245225261 | 0.244742113 | 0.244908097 | | |
| Vevey | | 0.355954581 | 0.201304319 | 0.406860291 | | 0.099154272 | 0.083290468 |
| E-W | 0.211574596 | 0.010298389 | 0.007187063 | | | | |
| Voith | 0.21589628 | | | | | | |
| Tosi | | | 0.07706129 | | | | |
| Riva | | | 0.121181873 | 0.117050576 | | | |
| Hidroart | | | 0.081786118 | 0.122058087 | | | |
| Charmiles | | | | 0.018089634 | | | |
| n | 4 | 4 | 7 | 6 | 2 | 2 | |
| Varianza | 0.002199264 | 0.021986233 | 0.015747525 | 0.016001815 | 0.065071879 | 0.160677297 | 0.000490102 |
| Indice H | 0.258797 | 0.33794492 | 0.253089783 | 0.26267758 | 0.630143 | 0.8213546 | |

Cuadros A 5-19

MW Instalados en Italia por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | Sin /año |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| S/nombre | 173.5 | | | | | | |
| Riva | 362 | 723 | 425.9 | | 377.4 | 39.8 | 242 |
| Tosi | 85 | 683 | 497 | 292 | | | |
| Hidroart | 35.2 | 96.3 | 225 | 457.6 | 161.4 | 869.8 | -762 |
| E-W | 201.4 | 73.6 | 249.1 | 91.2 | 1787 | 686 | -1207 |
| A-Ch | | | 103.7 | | | | |
| Ansaldo | | | | 218.4 | | | 115 |
| De Pretto | | | | | | 210 | |
| Ternaire | | | | | | | 123 |
| Suma | 683.6 | 1575.9 | 1500.7 | 1059.2 | 3778.4 | 1805.6 | |
| Nota : se ajusto los MW S/año de Hidroart y E-W proporcional a los decenios 1971-80 y 1981-90 | | | | | | | |
| No se considerará en 1901-30 lo referente a sin nombre | | | | | | | |
| Riva | 0.529549444 | 0.458785456 | 0.283800893 | | 0.099883549 | 0.022042534 | |
| Tosi | 0.124341721 | 0.433403135 | 0.331178783 | 0.275679758 | | | |
| Hidroart | 0.051492101 | 0.061107938 | 0.149930033 | 0.432024169 | 0.427164938 | 0.481723527 | |
| E-W | 0.294616735 | 0.046703471 | 0.165989205 | 0.086102719 | 0.472951514 | 0.379929109 | |
| A-Ch | | | 0.069101086 | | | | |
| Ansaldo | | | | 0.206193353 | | | |
| De Pretto | | | | | | 0.116304829 | |
| Ternaire | | | | | | | |
| n | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | |
| Varianza | 0.033833484 | 0.038559442 | 0.009005745 | 0.015643337 | 0.027598803 | 0.035104093 | |
| Índice H | 0.38533392 | 0.4042377 | 0.245028 | 0.3125736 | 0.416129733 | 0.39041636 | |

| Cuadros A 5-19 | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|-------------|
| MW instalados en SUIZA por fabricantes nacionales e internacionales | | | | | | | |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| Charmiles | | | | | | | 216 |
| E-W | 66.2 | 261 | 584 | 754 | 495.6 | 249.2 | 50 |
| Vcith | 187 | 220.8 | | | | | |
| Vevey | | 34 | 682.6 | 582 | | 77.3 | |
| Suma | 253.2 | 515.8 | 1266.6 | 1336 | 495.6 | 326.5 | 266 |
| % de MW instalados | | | | | | | |
| Charmiles | | | | | | | |
| E-W | 0.261453397 | 0.506010081 | 0.461076899 | 0.564371257 | | 1 | 0.763246554 |
| Vcith | 0.738546603 | 0.428072896 | | | | | |
| Vevey | | 0.065917022 | 0.538923101 | 0.435628743 | | | 0.236753446 |
| n | 2 | 3 | 2 | 2 | | 1 | 2 |
| varianza | 0.056904482 | 0.036768109 | 0.001515008 | 0.004143659 | | 0 | 0.069298748 |
| Indice H | 0.613808 | 0.443637663 | 0.50303 | 0.50828732 | | 1 | 0.6385975 |

Cuadros A 5-19

Mw instalados en el Reino Unido por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | s/año |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Eng. Elect | 134 | 257 | 524 | 138 | 0 | | 134 |
| Boving | | 135 | 51.8 | 420 | 1902 | | |
| suma | | 392 | 575.8 | 558 | 1902 | | |
| % de Mw instalados | | | | | | | |
| Eng Elec | 1 | 0.6556 | 0.91 | 0.2473 | | | |
| Boving | | 0.3443 | 0.0899 | 0.7526 | 1 | | |
| n | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | | |
| varianza | 0 | 0.024226923 | 0.161 | 0.03 | 0.063832023 | 0 | |
| Indice H | 1 | 0.5485 | 0.52 | 0.62766 | 1 | | |

Cuadros A 5-19

Mw instalados en la RFA por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Veith | 579 | 215.2 | 386.1 | 531 | 153 | 339 | |
| Veith-Ternaire | 45.2 | | | | | | 56 |
| E-W | 67.7 | | | 156.5 | 209 | | -149 |
| E-W-Ternaire | | | | 2096 | | | |
| Ternaire | | | | | | | 142 |
| Suma | 691.9 | 215.2 | 386.1 | 2783.5 | 362 | 339 | |
| Nota : los Mw S/año de E-w (149) se sumaron el decenio 1971-80 | | | | | | | |
| % de Mw instalados | | | | | | | |
| Veith | 0.836826131 | | 1 | 1 | 0.190801294 | 0.422651934 | 1 |
| Veith-Ternaire | 0.065327359 | | | | | | |
| E-W | 0.09784651 | | | 0.05623428 | 0.577348066 | | |
| E-W-Ternaire | | | | 0.753144089 | | | |
| Ternaire | | | | | | | |
| n | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | |
| Varianza | 0.126928748 | 0 | 0 | 0.091113443 | 0.005982723 | 0 | |
| Índice H | 0.71411958 | 1 | 1 | 0.6066736 | 0.51196544 | 1 | |

Cuadros A 5-19

Mw instalados en JAPON por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| E-W | 211.5 | 17.6 | 45 | 153.9 | | | |
| Hitachi | | 359 | 200 | 666 | 1711.9 | 3788 | 3623.5 |
| Voith | | 224 | 235.1 | 475 | 365.8 | 55 | |
| Mitsubishi | | | 844.9 | 511.5 | 992.1 | 432 | 1336 |
| Fuji | | | 94 | 246.7 | 249.5 | 129.5 | 211 |
| A-Ch | | | 51.8 | 239.8 | 41.8 | | 195.5 |
| Toshiba | | | | 341.9 | 2102 | 1688 | 2864 |
| suma | 211.5 | 600.6 | 1470.8 | 2634.8 | 5463.1 | 6092.5 | 8230 |
| Ajuste de los Mw S/año proporcional al total de los decenios | | | | | | | |
| ponderación | 0.0128 | 0.036458 | 0.08928 | 0.1435535 | 0.3316336 | 0.36984 | |
| E-W | 211.5 | 17.6 | 45 | 153.9 | | | |
| Hitachi | | 476.5 | 487.7 | 1128.7 | 2780.9 | 4980.1 | 41.2 |
| Voith | | 224 | 235.1 | 475 | 365.8 | 55 | |
| Mitsubishi | | 48.7 | 964 | 703.2 | 1435.1 | 926.1 | 17 |
| Fuji | | | 112.8 | 276 | 318 | 207 | |
| A-Ch | | | 51.8 | 239.8 | 41.8 | | 195.5 |
| Toshiba | 36.6 | 104.4 | 255.6 | 753 | 3051 | 2747 | |
| Suma | 248.1 | 871.2 | 2152 | 3729.6 | 11722.2 | 8915.2 | |
| % de Mw (ajustados) instalados | | | | | | | |
| E-W | 0.852478839 | 0.02020202 | 0.020910781 | 0.041264479 | | | |
| Hitachi | | 0.54694674 | 0.226626394 | 0.30263299 | 0.237233625 | 0.558607771 | |
| Voith | | 0.257116621 | 0.109247212 | 0.127359502 | 0.031205746 | 0.006169239 | |
| Mitsubishi | | 0.055899908 | 0.44795539 | 0.188545689 | 0.122425825 | 0.103878769 | |
| Fuji | | | 0.052416357 | 0.074002574 | 0.027128014 | 0.023218772 | |
| A-Ch | | | 0.024070632 | 0.064296439 | 0.003565884 | | |
| Toshiba | 0.147521161 | 0.119834711 | 0.118773234 | 0.201898327 | 0.260275375 | 0.308125449 | |
| n | 2 | 5 | 7 | 7 | 6 | 5 | |
| varianza | 0.124241332 | 0.036630594 | 0.019853225 | 0.007510801 | 0.010541758 | 0.043670381 | |
| Indice H | 0.74 | 0.383152 | 0.28182975 | 0.1954327 | 0.22991722 | 0.418351 | |

Cuadros A 5-19

MW Instalados en USA por grupo industrial

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| A-CH | 363 | 2647.1 | 6280 | 3876.4 | 6077.9 | 3742 | 5777.8 |
| Baldwin-Lima | | 1468.6 | 487.6 | 1106.2 | | | 1240.2 |
| Voest | | 360 | 1632 | 1656.8 | 1031.9 | | 2168 |
| Hitachi | | | | 640.8 | 2757.5 | 2742 | 3448 |
| Mitsubishi | | | | 585.3 | | 236 | |
| Voith-Hydro | | | | 17.9 | 1813 | 2880.6 | |
| English-Elec | | | | 140 | | | 376.6 |
| Toshiba | | | | 256 | 1860 | 400 | 262.4 |
| Kvaerner | | | | 634 | | 35.6 | |
| Nohab | | | | 400 | | | |
| Dew | | | | 1866 | 141.6 | 371.2 | |
| Newport news | | | | 40 | | | 1541 |
| Boving | | | | | 50.4 | | |
| Litostroj | | | | | 31 | | |
| Fuji | | | | | 13.7 | 8 | |
| American-Hidro | | | | | | 19.4 | |
| Noell | | | | | | 76 | |
| Nevpic | | | | | | 39.9 | |
| Pelton Water | | | | | | | 112 |
| S/nombre | | | | | | | 6192.5 |
| Suma | 363 | 4475.7 | 8399.6 | 11219.4 | 13777 | 10550.7 | 21118.5 |

| MW Instalados en USA por grupo industrial | | | | | | | (ajuste a las ins Instaladas S/año) | |
|---|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------------|--|
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año | |
| A-CH | 454.2 | 3312.5 | 7858.6 | 4850.8 | 7605.7 | 4682.6 | | |
| Baldwin-Lima | | 1468.6 | 487.6 | 1106.2 | | | 1240.2 | |
| Voest | | 496 | 2249 | 2283.6 | 1422 | 390 | | |
| Hitachi | | | | 1000.2 | 4306.1 | 4281.9 | | |
| Mitsubishi | | | | 585.3 | | 236 | | |
| Voith-Hydro | | | | 17.9 | 1813 | 2880.6 | | |
| English-Elec | | | | 140 | | | 376.6 | |
| Toshiba | | | | 256 | 1860 | 400 | 262.4 | |
| Kvaerner | | | | 634 | | 35.6 | | |
| Nohab | | | | 400 | | | | |
| Dew | | | | 1866 | 141.6 | 371.2 | | |
| Newport news | | | | 553 | 513 | 513 | | |
| Boving | | | | | 50.4 | | | |
| Litostroj | | | | | 31 | | | |
| Fuji | | | | | 13.7 | 8 | | |
| American-Hidro | | | | | | 19.4 | | |
| Noell | | | | | | 76 | | |
| Neyrpic | | | | | | 39.9 | | |
| Pelton Water | | | | | | | 112 | |
| S/nombre | | | | | | | 6192.5 | |
| Suma | 454.2 | 5277.1 | 10595.2 | 13693 | 17756.5 | 13934.2 | 8183.7 | |
| Distribución porcentual ajustada | | | | | | | | |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año | |
| A-CH | 1 | 0.62771219 | 0.741713229 | 0.354253998 | 0.428333286 | 0.336050868 | | |
| Baldwin-Lima | | 0.278296792 | 0.04602084 | 0.080785803 | | | 0.151545145 | |
| Voest | | 0.093991018 | 0.212265932 | 0.166771343 | 0.08008335 | 0.02798869 | | |
| Hitachi | | | | 0.073044621 | 0.242508377 | 0.307294283 | | |
| Mitsubishi | | | | 0.042744468 | | 0.016936746 | | |
| Voith-Hydro | | | | 0.001307237 | 0.102103455 | 0.206728768 | | |
| English-Elec | | | | 0.010224202 | | | 0.046018305 | |
| Toshiba | | | | 0.018695684 | 0.104750373 | 0.028706348 | 0.032063736 | |
| Kvaerner | | | | 0.04630103 | | 0.002554865 | | |
| Nohab | | | | 0.029212006 | | | | |
| Dew | | | | 0.136274009 | 0.007974545 | 0.026639491 | | |
| Newport news | | | | 0.040385598 | 0.028890829 | 0.036815892 | | |
| Boving | | | | | 0.002838397 | | | |
| Litostroj | | | | | 0.00174584 | | | |
| Fuji | | | | | 0.000771548 | 0.000574127 | | |
| American-Hidro | | | | | | 0.001392258 | | |
| Noell | | | | | | 0.005454206 | | |
| Neyrpic | | | | | | 0.002863458 | | |
| Pelton Water | | | | | | | 0.013685741 | |
| S/nombre | | | | | | | 0.756687073 | |
| Varianza | 0 | 0.048990892 | 0.087993308 | 0.008943225 | 0.017100079 | 0.013629212 | 0.035041941 | |
| n | 1 | 3 | 3 | 12 | 10 | 13 | 5 | |
| Indice | 1 | 0.480306 | 0.5973132 | 0.19065197 | 0.2710008 | 0.2541028 | 0.375209 | |

Cuadros A 5-19

Mw instalados en Canadá por fabricantes nacionales y extranjeros

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|--------------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Voith-Hidro | | 28.4 | | | 60 | 153 | 34 |
| Eng-Elec | | | | | | | 1672.8 |
| Fuji | | | | | 60 | 1143 | 153 |
| C.A.C. | | | | | | | 196.8 |
| DEW | 1164.2 | 2706.6 | 1756.4 | 4085 | 6505.6 | | 39.6 |
| A-CH | | 1746.4 | 732.3 | 2426.9 | | | |
| J. Inglis | | 196.8 | | | | | |
| Baldwin lima | | | 139.6 | | | | |
| Neyrpic | | | 524 | 2982 | | 2535 | |
| Boving-KM/W | | | 60.3 | | | | |
| Tosi | | | 28 | | | | |
| KM/W | | | 229.8 | | | | |
| Mil | | | | 5832 | 468.5 | | |
| Toshiba | | | | 2341 | 846 | | |
| Fuji-Voith | | | | 183 | | | |
| Neyrpic-Mil | | | | | 4996.9 | 3652 | |
| Mitsubishi | | | | | 1320.2 | | |
| Hitachi | | | | | 884 | | |
| LMZ | | | | | 1600 | | |
| Russe | | | | | 716 | | |
| Voest | | | | | 182.6 | | |
| Kvaerner | | | | | 77.3 | | |
| DBS | | | | | | | 97 |
| Gral Elect | | | | | | | 612 |
| GEC-Alsthon | | | | | | | 504 |
| Suma | 1164.2 | 4678.2 | 3470.4 | 17969.9 | 18893.1 | 7476 | 2096.2 |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| Voith-Hidro | | 0.0060707 | | 0.003338917 | 0.008098195 | 0.010165864 | 0.016219826 |
| Eng-Elec | | | | | | | 0.798015457 |
| Fuji | | | | 0.003338917 | 0.060498277 | | 0.072989219 |
| C.A.C. | | | | | | | 0.093884171 |
| DEW | 1 | 0.57855586 | 0.506108806 | 0.227324582 | 0.344337351 | | 0.018891327 |
| A-CH | | 0.37330597 | 0.21101314 | 0.135053617 | | | |
| J. Inglis | | 0.04206746 | | | | | |
| Baldwin lima | | | 0.040225911 | | | | |
| Neyrpic | | | 0.15099124 | 0.165944162 | | 0.339085072 | |
| Boving-KM/W | | | 0.017375519 | | | | |
| Tosi | | | 0.008068234 | | | | |
| KM/W | | | 0.066217151 | | | | |
| Mil | | | | 0.324542708 | 0.024797413 | | |
| Toshiba | | | | 0.130273402 | 0.044778252 | | |
| Fuji-Voith | | | | 0.010183696 | | | |
| Neyrpic-Mil | | | | | 0.264482801 | 0.488496522 | |
| Mitsubishi | | | | | 0.069877363 | | |
| Hitachi | | | | | 0.046789569 | | |
| LMZ | | | | | 0.084687002 | | |
| Russe | | | | | 0.037897433 | | |
| Voest | | | | | 0.009664904 | | |
| Kvaerner | | | | | 0.004091441 | | |
| DBS | | | | | | | 0.012974853 |
| Gral Elect | | | | | | | 0.081861958 |
| GEC-Alsthon | | | | | | | 0.06741573 |
| num | 1 | 4 | 7 | 8 | 12 | 6 | |
| Varianza | 0 | 0.05647269 | 0.02671196 | 0.01185982 | 0.01061017 | 0.03307647 | 0.09031806 |
| Indice H | 1 | 0.47589 | 0.3298408 | 0.2198785 | 0.2106617 | 0.36512548 | |

Cuadros A 5-19

Mw instalados en MEXICO por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Voith | 85.3 | 33.6 | 60 | | | | |
| E-W | 15.4 | | 179.5 | 1467 | 436.8 | | 273 |
| A-CH | | 148.1 | | | | | |
| Neyrpic | | | 158.9 | 1513.6 | | | 200 |
| Tosi | | | 47.8 | 23.9 | | | |
| Mitsubishi | | | 22.5 | 1178 | 1535 | | 600 |
| Hitachi | | | | 169.8 | | | |
| Toshiba | | | | 73.6 | | | |
| Vevey | | | | 131 | | | |
| TEISA | | | | | | | 83 |
| Russe | | | | | | | 975 |
| LMZ | | | | | | | 422 |
| Creusot-L. | | | | | 90.8 | | |
| suma | 100.7 | 181.7 | 468.7 | 4556.9 | 2062.6 | | 2553 |
| % de MW instalados | | | | | | | |
| Voith | 0.847070506 | 0.184920198 | 0.128013655 | | | | |
| E-W | 0.152929494 | | 0.382974184 | 0.321929382 | 0.21177155 | 0.10693302 | |
| A-CH | | 0.815079802 | | | | | |
| Neyrpic | | | 0.339022829 | 0.332155632 | | 0.078339209 | |
| Tosi | | | 0.101984212 | 0.005244794 | | | |
| Mitsubishi | | | 0.048005121 | 0.258509074 | 0.744206342 | 0.235017626 | |
| Hitachi | | | | 0.037262174 | | | |
| Toshiba | | | | 0.016151331 | | | |
| Vevey | | | | 0.028747614 | | | |
| TEISA | | | | | | 0.032510772 | |
| Russe | | | | | | 0.381903643 | |
| LMZ | | | | | | 0.165295731 | |
| Creusot-L. | | | | | 0.044022108 | | |
| n | 2 | 2 | 5 | 7 | 3 | 6 | |
| Varianza | 0.120457936 | 0.099275282 | 0.018139694 | 0.020062708 | 0.089098294 | 0.013394724 | |
| Indice H | 0.74091588 | 0.69855056 | 0.290698845 | 0.28329611 | 0.6006282 | 0.247034987 | |

Cuadros A 5-19

Mw instalados en Brasil por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Eng Elec | | | | | | | 121 |
| Riva | | | 86.7 | | | | 172.8 |
| E-W | 48.6 | 25.9 | 36.4 | 3152 | | | |
| A-Ch | | 68.1 | 330.3 | | | | |
| DEW | | 366.7 | 145.5 | 211.6 | 1609 | | |
| Vevey | | 145.2 | 20.5 | | | | |
| Neypic | | | 122.8 | 2364 | 12694 | 2919.9 | |
| Voith | | | | 2036.6 | 11801.5 | 3261.2 | |
| Nohab | | | | 309 | | | |
| Tosi | | | | 220.8 | | | |
| KMW | | | | 64.2 | | | |
| Voest | | | | 130.2 | | | |
| Mitsubishi | | | | 697 | 749 | | |
| Kvaerner | | | | | 309 | | |
| Hitachi | | | | | 1432 | 391.6 | |
| LMZ | | | | | 652 | | |
| Hydroart A. | | | | | 1929 | 585 | |
| Barcellona | | | | | 5254 | 1605 | |
| Rusa | | | | | | 88.8 | |
| Suma | 48.6 | 605.9 | 742.2 | 9185.4 | 36429.5 | 8851.5 | 293.8 |
| Mw instalados en Brasil por fabricantes nacionales e internacionales % | | | | | | | |
| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
| Eng Elec | | | | | | | 0.411844792 |
| Riva | | | 0.116814875 | | | | 0.588155208 |
| E-W | 0.042746328 | 0.042746328 | 0.049043385 | 0.343153265 | | | |
| A-Ch | | 0.112394785 | 0.445028294 | | | | |
| DEW | | 0.605215382 | 0.196038804 | 0.023036558 | 0.044167502 | | |
| Vevey | | 0.239643506 | 0.027620587 | | | | |
| Neypic | | | 0.165454056 | 0.257364949 | 0.348453863 | 0.329876292 | |
| Voith | | | | 0.221721427 | 0.323954487 | 0.368434729 | |
| Nohab | | | | 0.033640342 | | | |
| Tosi | | | | 0.024038147 | | | |
| KMW | | | | 0.006989353 | | | |
| Voest | | | | 0.014174668 | | | |
| Mitsubishi | | | | 0.07588129 | 0.02056026 | | |
| Kvaerner | | | | | 0.008482137 | | |
| Hitachi | | | | | 0.039308802 | 0.044241089 | |
| LMZ | | | | | 0.017897583 | | |
| Hydroart A. | | | | | 0.052951591 | 0.066090493 | |
| Barcellona | | | | | 0.144223775 | 0.181325199 | |
| Rusa | | | | | | | |
| n | 1 | 4 | 6 | 9 | 9 | 5 | 2 |
| Varianza | 0 | 0.047043626 | 0.019000606 | 0.014476455 | 0.015907867 | 0.017551865 | 0.007771341 |
| Indice H | 1 | 0.4381 | 0.28067 | 0.241399 | 0.2542819 | 0.2877593 | 0.5155426 |

Cuadros A 5-19

Mw instalados en la India por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/Año |
|---|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Bhel | | | | | 5150.1 | 7242.6 | |
| Eng- Elec | | | | | | | 552 |
| A-CH | | 55.2 | | 100.8 | | | |
| Voith | | | 318.9 | | | 56.6 | |
| Neypic | | | 62.2 | | | 390 | |
| Vevey | | | 51.3 | 139 | | | |
| Hitachi | | | 584 | 92.9 | 480 | 1346 | |
| Litostroj | | | | 303.6 | | | |
| Dew | | | | 21.4 | 108 | | |
| E-W | | | | 201.8 | | | |
| LMZ | | | | 835 | 775 | | |
| KMW | | | | 220 | | | |
| Nohab | | | | 56 | | | |
| Charmiles | | | | 60 | | | |
| Fuji | | | | | | 56.6 | |
| Mil | | | | | | 555 | |
| Russe | | | | | | 800 | |
| Kvaerner | | | | | | 480 | |
| Suma | 0 | 55.2 | 1016.4 | 2030.5 | 6513.1 | 10926.8 | 552 |
| Nota: se ajustaron 804 Mw de Bhel para los decenios 1970-80 y 1980-93 proporcionalmente | | | | | | | |
| Bhel | | | | | 0.790729453 | 0.66287754 | |
| Eng- Elec | | | | | | | |
| A-CH | | 1 | | 0.049642945 | | | |
| Voith | | | 0.313754427 | | | 0.005180304 | |
| Neypic | | | 0.061196379 | | | 0.035694673 | |
| Vevey | | | 0.050472255 | 0.068456045 | | | |
| Hitachi | | | 0.574576938 | 0.045752278 | 0.073697625 | 0.123192385 | |
| Litostroj | | | | 0.149519823 | | | |
| Dew | | | | 0.010539276 | 0.016581966 | | |
| E-W | | | | 0.099384388 | | | |
| LMZ | | | | 0.411228761 | 0.118990957 | | |
| KMW | | | | 0.108347698 | | | |
| Nohab | | | | 0.027579414 | | | |
| Charmiles | | | | 0.029549372 | | | |
| Fuji | | | | | | 0.005180304 | |
| Mil | | | | | | 0.050796266 | |
| Russe | | | | | | 0.073219843 | |
| Kvaerner | | | | | | 0.043931906 | |
| n | | 1 | 4 | 10 | 4 | 8 | |
| Varianza | | 0 | 0.046218236 | 0.012407054 | 0.098779554 | 0.042595486 | |
| Indice H | | 1 | 0.4348729 | 0.2240705 | 0.6451182 | 0.46576392 | |

Cuadros A 5-19

MW Instalados en España por fabricantes nacionales e internacionales

| Fabricante | 1901-1930 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|--|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| E-W | 67.7 | 43.2 | 76.9 | 141.3 | 602.8 | 99.7 | |
| Engl-Elec | | | | | | | 336 |
| Nohat | | | | | | | 132 |
| A-Ch | | 99 | | | | | 153 |
| Voith | 58.3 | 371.3 | 276.8 | 131.3 | 588.8 | 1264 | |
| Boving-KMW | | 553.3 | 334.1 | 911.9 | 303.6 | | |
| Neypic | | 35.4 | 1615.9 | 1403.7 | 105.9 | 1194 | |
| Vevey | | | 31.5 | 228.9 | | 280 | |
| Suma | 126 | 1102.2 | 2335.2 | 2817.1 | 1601.1 | 2837.7 | 621 |
| <i>Nota: Se ajusto los Mw S/año de correspondientes a E-W con base a los registros en los años con datos</i> | | | | | | | |
| E-W | 0.537301587 | 0.039194339 | 0.032930798 | 0.050157964 | 0.376491162 | 0.035134087 | |
| Engl-Elec | | | | | | | |
| Nohat | | | | | | | |
| A-Ch | | 0.089820359 | | | | | |
| Voith | 0.462698413 | 0.336871711 | 0.118533744 | 0.046608214 | 0.367747174 | 0.445431159 | |
| Boving-KMW | | 0.501996008 | 0.143071257 | 0.323701679 | 0.189619636 | | |
| Neypic | | 0.032117583 | 0.691974991 | 0.498278371 | 0.066142027 | 0.420763294 | |
| Vevey | | | 0.013489209 | 0.081253772 | | 0.098671459 | |
| n | 2 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | |
| Varianza | 0.048040834 | 0.035223595 | 0.062923084 | 0.032870887 | 0.016828488 | 0.034105282 | |
| Indice H | 0.5908 | 0.37611795 | 0.514654 | 0.36435445 | 0.31731396 | 0.38642112 | |

Cuadros A 5-20

Participación de los Mw instalados por los fabricantes fuerade su pais de origen

Participación de los Mw intalados por A-Ch outland con respecto a su producción

| Fabricante | 1901-30 | 1931-50 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981-93 | S/año |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| USA(ajustado) | 454.2 | 5277.1 | 10595.2 | 13693 | 17756.5 | 13934.2 | 8183.7 |
| A-Ch en USA | 454.2 | 3312.5 | 7858.6 | 4850.8 | 7605.7 | 4682.6 | |
| Tot A-Ch | 803.00 | 4971.00 | 7591.00 | 7398.00 | 7555.00 | 6075.00 | 8787.00 |
| Ajuste (to-Ach) | 205.1 | 1270 | 1939 | 1890 | 1903 | 1552 | |
| Tot ajustado | 1008 | 6241 | 9530 | 9288 | 9458 | 7627 | |
| Part outland | 0.5494 | 0.4692 | 0.1753 | 0.4778 | 0.1959 | 0.386 | |

Participación de los MW instalados por E-W outland con respecto a su producción

| | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|---------|---------|--------|--------|------|
| E-W en Suiza | 66.2 | 261 | 584 | 754 | 495.6 | 249.2 | |
| Tot E-W | 781.7 | 828.1 | 2166 | 9520 | 5991 | 5827 | 2019 |
| Ajuste (totEW) | 62.8 | 66.5 | 174 | 765 | 481 | 468 | |
| Tot ajustado | 844.5 | 894.6 | 2340 | 10285 | 6472 | 6295 | |
| Part outland | 0.9216 | 0.708 | 0.75042 | 0.92668 | 0.9234 | 0.9604 | |

Participación de los Mw instalados por Neyrpic outland con respecto a su producción

| | | | | | | | |
|----------------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|------|
| Ney en Fran | 174.7 | 736 | 800.2 | 145.7 | 1520 | 308.9 | 98.6 |
| Tot Neyrpic | 171.6 | 819 | 4815.8 | 12694 | 16609 | 15379.8 | 96.4 |
| Ajuste | 16.6 | 80.9 | | | | | |
| Total ajustado | 188.2 | 899.9 | | | | | |
| Part outland | 0.0717 | 0.1821 | 0.8338 | 0.988 | 0.9084 | 0.9799 | |

Participación de los MW instalados por Voith outland con respecto a su producción

| | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Voith en RFA | 579 | 215 | 386 | 531 | 153 | 339 | |
| Tot Voith | 1022.2 | 1750.9 | 2601.8 | 5877.7 | 17341.5 | 6658.2 | 1660.9 |
| part ouland | 0.4335 | 0.8772 | 0.8516 | 0.9096 | 0.991 | 0.949 | |

Participación de los Mw instalados por Boving outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|--------------|------|-------|--------|--------|--------|------|--|
| Boving en UK | | 135 | 51.8 | 420 | 1902 | | |
| Tot Boving | 33.9 | 767.9 | 1172.3 | 2265.4 | 3445 | 38.2 | |
| Part outland | 1 | 0.824 | 0.9558 | 0.8146 | 0.4478 | 1 | |

Participación de los Mw instalados por English Electric outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|---------------|--|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| E-Elec en UK | | 257 | 524 | 138 | | | 134 |
| Ajuste | | 37 | 76 | 20.1 | | | |
| Tot ajuste | | 294 | 600 | 158.1 | | | |
| Tot E.E. | | 204.3 | 505.5 | 142.8 | 1131.7 | 200.6 | 4176.4 |
| Ajuste | | 194 | 965 | 271 | 2161 | 382 | 194 |
| Total ajstute | | 398.3 | 1470.5 | 413.8 | 3292.7 | 582.6 | |
| Part Outland | | 0.512 | 0.5918 | 0.617 | 1 | 1 | |

Participación de los Mw instalados por DEW outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|--------------|-----|---------|--------|---------|----------|--|------|
| DEW en Can | 904 | 2706.61 | 1756.4 | 4085 | 6505.61 | | 39.6 |
| Tot. DEW | 904 | 3035 | 2065.7 | 6000.21 | 10351.71 | | |
| Part outland | 0 | 0.1082 | 0.1497 | 0.3191 | 0.3715 | | |

FALTA PAGINA

No. 299

Cuadros A 5-20

Participación de los Mw instalados por los fabricantes fuerade su país de origen

participación de los Mw instalados por KMW outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | |
|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| KMW en Suecia | 193.9 | 391.5 | 656 | 1739 | 32 | 151 |
| Tot KMW | 19.6 | 483 | 1320 | 949 | 2396 | 151.6 |
| Part outland | 1 | 0.5985 | 0.7034 | 0.3087 | 0.2742 | 0.9367 |

Participación de los Mw instalados por RIVA outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|----------------|------|--------|--------|--------|--------|------|-------|
| Riva en Italia | 362 | 723 | 425 | 401 | 377 | 39 | 242 |
| Ajuste | 37 | 75 | 44 | 41 | 39 | 8 | |
| Tot | 399 | 798 | 469 | 41 | 416 | 47 | |
| Tot Riva | 301 | 722 | 1028.5 | 357 | 465.9 | 38.2 | 537.5 |
| ajuste | 55 | 133 | 189 | 65 | 85 | 7 | |
| Tot ajustado | 356 | 855 | 1217 | 422 | 550 | 45 | |
| Part outland | 0.01 | 0.0666 | 0.6146 | 0.9028 | 0.2436 | | |

Participación de los Mw instalados por Tampella Tosi outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|----------------|------|--------|--------|--------|--|--|------|
| Tosi en Italia | 85 | 683 | 497 | 292 | | | |
| Tot Tosi | 50.3 | 724.8 | 958.8 | 540.8 | | | 89.5 |
| Part outland | 0 | 0.0576 | 0.4812 | 0.4592 | | | |

Participación de los Mw instalados por Hydroart outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|-----------------|------|------|--------|--------|--------|--------|-----|
| Hydro en Italia | 35.2 | 96.3 | 225 | 457.6 | 1614 | 869.8 | |
| Tot Hydroart | 37 | 81.7 | 470.6 | 2061.3 | 3827.8 | 2636.5 | 785 |
| Ajuste | 3 | 7 | 40 | 177 | 329 | 227 | |
| Tot ajuste | 40 | 88.7 | 510.6 | 2238.3 | 4156.8 | 2863.5 | |
| Part Outland | 0.12 | 0.01 | 0.5593 | 0.7955 | 0.6117 | 0.6962 | |

Participación de los Mw instalados por Creusot Lorie outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|--------------|-------|--------|------|--------|------|--|------|
| Creusot en F | 130 | 464 | 737 | 391 | 493 | | |
| Tot C-L | 89 | | 52.3 | | | | 2481 |
| Ajuste | 130 | 464 | 737 | 391 | 493 | | 2215 |
| | 219 | | 789 | | | | 266 |
| | | 91 | | 77 | 97 | | 0 |
| Tot ajuste | 219 | 555 | 789 | 468 | 590 | | |
| Part outland | 0.406 | 0.1639 | 0.06 | 0.1645 | 0.16 | | |

Participación de los Mw instalados por Toshiba outland (con respecto a su producción)

| | | | | | | | |
|----------------|--------|---------|---------|-----------|---------|--------|------|
| Toshiba en J | | | | 341.9 | 2102 | 1688 | 2864 |
| Ajuste ponder | 0.0128 | 0.03645 | 0.08928 | 0.1435535 | 0.33163 | 0.3698 | |
| Ajuste | 36 | 104 | 255 | 410 | 949 | 1059 | |
| Tot en J | 36 | 104 | 255 | 751 | 3051 | 2747 | |
| Tot de Toshiba | 64 | 1430 | 130 | 3612 | 6557 | 5311 | 4562 |
| Ajuste | | | 2521 | | | | 2041 |
| Ajuste | 7 | 171 | | 434 | 788 | 638 | 0 |
| Tot ajuste | 71 | 1601 | 2651 | 4046 | 7345 | 5949 | |
| Part outland | 0.492 | 0.935 | 0.903 | 0.8143 | 0.5846 | 0.5382 | |

Hitachi

| | | | | | | | |
|--------------|--|-----|------|------|---------|---------|--------|
| Hitachi en J | | 359 | 200 | 666 | 1711.9 | 3788 | 3623.5 |
| Ajuste | | | 323 | 519 | 1201 | 1339 | 178 |
| Tot ajuste J | | 359 | 523 | 1185 | 2912.9 | 5127 | |
| Tot Prod. H | | 359 | 828 | 5285 | 18173.7 | 12886.5 | 8070 |
| Ajuste | | 77 | 178 | 1136 | 3907 | 2770 | |
| Tot ajuste | | 436 | 1006 | 6421 | 22080.7 | 15656.5 | |

Cuadros A 5-20

Participación de los Mw instalados por los fabricantes fuerade su pais de origen

| | | | | | | |
|---|---------|--------|---------|--------|--------|--------|
| Part outland | 0.1766 | 0.4801 | 0.8154 | 0.868 | 0.6725 | |
| Mitsubishi | | | | | | |
| Mitsubishi en J | | 844.9 | 511.5 | 992.1 | 432 | 1336 |
| Ajuste | 48 | 118 | 191 | 443 | 494 | 17 |
| Tot de M en J | 48 | 962.9 | 1665.4 | 1435.1 | 926 | |
| Tot Prod M | 55.9 | 1752 | 4163.4 | 6607.1 | 2541 | 1722.9 |
| Ajuste | 6.3 | 199 | 474 | 752 | 289 | |
| Tot ajuste | 62.2 | 1951 | 4637 | 7359.1 | 2830 | |
| Part outland | 0.2282 | 0.5064 | 0.6408 | 0.8049 | 0.6727 | |
| Fuji | | | | | | |
| Fuji en J | | 94 | 246.7 | 249.5 | 129.5 | 211 |
| ajuste | | 18.8 | 30 | 69.9 | 78 | |
| tot ajuste | | 112.8 | 276.7 | 319.4 | 207.5 | |
| Tot Pro Fuji | | 100.4 | 755.1 | 1863.9 | 1509.3 | 1075.1 |
| ajuste | | 25 | 191 | 473.8 | 383.6 | |
| Tot ajuste | | 125.4 | 946.1 | 2336.9 | 4229.8 | |
| Part outland | | 0.1004 | 0.7075 | 0.8633 | 0.9509 | |
| Participación de los Mw instalados por NOHAB outland (con respecto a su producción) | | | | | | |
| Nohab en S | 103.4 | 739 | 927.2 | 447 | 156.8 | 76 |
| Tot Nohab | 157 | 919.5 | 2163.3 | 698.9 | 238.8 | 303.2 |
| Ajuste | 11.3 | 66.7 | 157 | 50.6 | 17.2 | |
| tot ajuste | 168.3 | 986.2 | 2320.3 | 749.5 | 256 | |
| Part outland | 0.3879 | 0.2506 | 0.6004 | 0.4036 | 0.387 | |
| Participación de los Mw instalados por KVAEMER outland (con respecto a su producción) | | | | | | |
| Kvaerner en N | 413.1 | 1764.7 | 4916.1 | 4755.2 | 2400.8 | 49 |
| Tot kvaerner | 333.41 | 1826 | 6724.77 | 6973 | 5187 | 41 |
| Part outland | 0.01 | 0.335 | 0.2689 | 0.318 | 0.5371 | |
| Participación de los MW instalads por Vevey outland (con respecto a su producción) | | | | | | |
| Vevey en S | 34 | 682.6 | 582 | | 77.3 | |
| Prod | 1064.45 | 2318.5 | 2653.1 | 1830.6 | 1222.7 | 255 |
| Part outland | 0.968 | 0.7055 | 0.7806 | 1 | | |
| Participación de los Mw instalados por Baldwin Lima outland (con respecto a su producción) | | | | | | |
| B-L en USA | 1468.6 | 487 | 1106.2 | | | 1240.2 |
| ajuste | | | 354 | 886 | | |
| Tot ajuste | 1468.6 | 487 | 1460 | 886 | | |
| Prod B-L | 1890.7 | 597 | 1000 | | | 1240 |
| ajuste | | | 460 | 886 | | |
| tot ajuste | 1890.7 | 597 | 1460 | 886 | | |
| Part outland | 0.22 | 0.1842 | 0 | 0 | | |
| Participación de los Mw instalados por Voest en USA (con respecto a su producción) | | | | | | |
| Voest en USA | 360 | 1632 | 1656.8 | 1031.9 | -641 | 2168 |
| Ajuste | | | 1078 | 671 | 417 | |
| tot ajuste | 360 | 1632 | 2734 | 1702 | 417 | |
| Prod Voest | 360 | 1778 | 2122.5 | 2562.9 | 2149.3 | 2377.6 |
| Ajuste | | | 738.3 | 891.5 | 747.6 | |

Cuadros A 5-20

Participación de los Mw instalados por los fabricantes fuerade su pais de origen

| | | | | | |
|--------------|-----|-------|--------|--------|--------|
| Tot ajuste | 360 | 1778 | 2860.8 | 3454.4 | 2896.3 |
| Out land USA | 0 | 0.082 | 0.044 | 0.5072 | 0.856 |

| Cuadro A5-22-1 | |
|----------------------------------|-------------------|
| Altura promedio explotada | |
| Año | Altura mts |
| C1 | |
| 1920-30 | 132.3 |
| 1930-40 | 103.4 |
| 1941-45 | 115.8 |
| 1946-50 | 128.7 |
| 1951-55 | 139.8 |
| 1956-60 | 153.4 |
| 1961-64 | 148.8 |
| 1965-69 | 156.6 |
| 1970-74 | 197.2 |
| 1975-85 | 132 |
| 1986-92 | 154.4 |
| Fuente: R-A5-3, R-A5-7, A5-42 | |

Cuadro A5-26 - I

Salario y valor agregado en EUA

| Año | Proporción de salarios a valor agregado en la industria de EUA 1920-92 | | | | Salario y valor agregado en EUA | | | | | |
|------|--|-----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|------------|------------|
| | Total trab miles | trabaj miles | total remun millonesUSd | salarios millones dis | valor agrega millones dis | ind 1982=1 Costo vida | Tot rem 1982 Sal 1982 | V agreg 1982 | TotRem/VA | Sal/VA |
| 1939 | | | | | | | | | | |
| 1947 | 1545.3 | 1244.1 | 4804.5 | 3592.7 | 7812.4 | 3.22804735 | 12655.9213 | 20579.2735 | 0.61498387 | 0.45987149 |
| 1950 | 1363.8 | 1064.2 | 5063 | 3609 | 8764.6 | 2.63418072 | 20310.4979 | 35159.6661 | 0.5776647 | 0.41177008 |
| 1958 | 1250 | | 7314 | | 12414 | 4.01155399 | 24427.834 | 41461.1884 | 0.58917351 | |
| 1963 | 1459 | | 9571 | | 17311 | 3.3398734 | 30188.1074 | 54601.0163 | 0.55288545 | |
| 1967 | 1865 | 1345 | 14226 | 9326 | 27836 | 3.1541226 | 41146.2923 | 80510.909 | 0.51106481 | 0.33503377 |
| 1973 | 1994 | 1400 | 21598 | 13494 | 44608 | 2.8923304 | 46973.0416 | 97017.0127 | 0.48417324 | 0.30250179 |
| 1978 | 2411 | | 44604 | | 99435 | 2.17487923 | 66022.5375 | 147183.011 | 0.44857445 | |
| 1982 | 2189 | | 46911 | | 102269 | 1.4801932 | 46911 | 102269 | 0.45870205 | |
| 1987 | 1835 | | 50749.9 | | 119214 | 0.85024155 | 43149.6736 | 101360.696 | 0.4257042 | |
| 1991 | 1774 | | 54983 | | 124235 | 0.70917874 | 38992.7747 | 88104.8208 | 0.44257254 | |
| 1992 | | | | | | 0.688888 | | | | |

Fuente R-A5-8

| Cuadro A5-26-2 | | |
|----------------|-----------------------|------|
| Año | Productivida Salarios | |
| | Tasa de crec SyS/VA | |
| | W12 | W13 |
| 1910-20 | | |
| 1920-30 | 0.034 | 0.63 |
| 1930-40 | 0.04 | 0.61 |
| 1941-50 | 0.16 | 0.57 |
| 1951-60 | 0.08 | 0.58 |
| 1961-70 | 0.031 | 0.55 |
| 1971-80 | | 0.51 |
| 1981-90 | 0.009 | 0.44 |
| 1991-95 | 0.124 | 0.43 |
| Fuente: R-A5-8 | | |

| Cuadro A5-30-1 | | | |
|--------------------------------|--------------|----------------|-------|
| Indice precio del acero en EUA | | | |
| Indice de acero | EUA | | |
| Whole price index BLS | iron & Steel | | |
| | Metal & prod | Steel finished | |
| año | | | |
| 1996 | | | |
| 1995 | | | |
| 1994 | | | |
| 1993 | | | |
| 1992 | | 128.7 | |
| 1991 | | 127.5 | |
| 1990 | | 125.6 | |
| 1989 | | 122.8 | |
| 1988 | | 118.7 | |
| 1987 | | 107.1 | |
| 1986 | | 103.2 | |
| 1985 | | 104.4 | |
| 1984 | | 104.8 | |
| 1983 | | 101.8 | |
| 1982 | | 100 | |
| 1981 | | 99.6 | |
| 1980 | | 95 | |
| 1979 | | 86 | |
| 1978 | | 73.6 | |
| 1977 | | 68.8 | |
| 1976 | | 64.9 | |
| 1975 | | 61.5 | |
| 1974 | | 55 | |
| 1973 | | 44.9 | |
| 1972 | | 40.5 | |
| 1971 | | 39.02 | |
| 1970 | 116.7 | 38.7 | |
| 1969 | 108.5 | 35.9 | 111.7 |
| 1968 | 102.6 | 34.0241645 | 108.5 |
| 1967 | 100 | 33.1619537 | 105.9 |
| 1966 | 98.8 | 32.7640103 | 104.7 |
| 1965 | 96.4 | 31.9681234 | 103.3 |
| 1964 | 93.8 | 31.1059126 | 102.8 |
| 1963 | 91.3 | 30.2768637 | 102 |
| 1962 | 91.2 | 30.2437018 | |
| 1961 | 91.9 | 30.4758355 | |
| 1960 | 92.4 | 30.6416452 | 102.1 |
| 1959 | 92.3 | 30.6084833 | |
| 1958 | 90.4 | 29.9784061 | |
| 1957 | 91 | 30.1773779 | |
| 1956 | 89.2 | 29.5904627 | |
| 1955 | 82.1 | 27.225964 | 81.8 |
| 1954 | 76.9 | 25.5015424 | |
| 1953 | 76.3 | 25.3025707 | |
| 1952 | 73.9 | 24.5066838 | |
| 1951 | 78.8 | 26.1316195 | |
| 1950 | 66.3 | 21.9863753 | 62.9 |
| 1949 | 63 | 20.8920308 | |
| 1948 | 62.5 | 20.7262211 | |
| 1947 | 54.9 | 18.2059126 | |
| 1946 | 44.3 | 14.6907455 | |
| 1945 | 39.6 | 13.1321337 | 37.9 |
| 1944 | 39 | 12.9331619 | |
| 1943 | 39 | 12.9331619 | |
| 1942 | 39.1 | 12.9663239 | |
| 1941 | 38.5 | 12.7673522 | |

| Cuadro A5-30-1 | | | |
|--------------------------------|------|------------|------------|
| Indice precio del acero en EUA | | | |
| 1940 | 37.8 | 12.5352185 | 36.7 |
| 1939 | 37.6 | 12.4688946 | |
| 1938 | 38 | 12.6015424 | |
| 1937 | 39.4 | 13.0658098 | |
| 1936 | 34.5 | 11.440874 | |
| 1935 | 33.8 | 11.2087404 | |
| 1934 | 33.9 | 11.2419023 | |
| 1933 | 30.7 | 10.1807198 | |
| 1932 | 29.9 | 9.91542416 | |
| 1931 | 32.6 | 10.8107969 | |
| 1930 | 36.2 | 12.0046272 | |
| 1929 | 40.2 | 13.3311054 | |
| 1928 | 38.8 | 12.866838 | |
| 1927 | 38.8 | 12.866838 | |
| 1926 | 41.4 | 100 | 13.7290488 |
| 1925 | | 103.2 | 14.1683784 |
| 1924 | | 106.2 | 14.5802498 |
| 1923 | | 109.3 | 15.0058503 |
| 1922 | | 102.9 | 14.1271912 |
| 1921 | | 117.5 | 16.1316323 |
| 1920 | | 149.4 | 20.5111989 |
| 1919 | | 130.9 | 17.9713249 |
| 1918 | | 136.5 | 18.7401516 |
| 1917 | | 150.6 | 20.6759475 |
| 1916 | | 116.5 | 15.9943419 |
| 1915 | | 86.3 | 11.8481691 |
| 1914 | | 80.2 | 11.0106971 |
| 1913 | | 90.8 | 12.4659763 |
| 1912 | | 89.5 | 12.2874987 |
| 1911 | | 80.8 | 11.0930714 |
| 1910 | | 85.2 | 11.6971496 |
| 1909 | | 84.5 | 11.6010462 |
| 1908 | | 86.3 | 11.8481691 |
| 1907 | | 109.8 | 15.0744956 |
| 1906 | | 102.4 | 14.058546 |
| 1905 | | 89.1 | 12.2325825 |
| 1904 | | 79.9 | 10.96951 |
| 1903 | | 90.2 | 12.383602 |
| 1902 | | 91 | 12.4934344 |
| 1901 | | 93.1 | 12.7817444 |
| 1900 | | 98 | 13.4544678 |
| 1899 | | 100 | 13.7290488 |
| 1898 | | 65.3 | 8.96506887 |
| 1897 | | 65 | 8.92388172 |
| 1896 | | 71.2 | 9.77508275 |
| 1895 | | 70.4 | 9.66525036 |
| 1894 | | 65.7 | 9.01998506 |
| 1893 | | 76.8 | 10.5439095 |
| 1892 | | 84 | 11.532401 |
| 1891 | | 92.2 | 12.658183 |
| 1890 | | 105.3 | 14.4566884 |

Fuente: Series historicas y anuarios estadisticos de EUA.

| Cuadro A5-30-2 | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-------------|--------------------|--|------------------|
| Indice precios EUA | | | | | |
| Indices de la economía nortamericana | | | | | |
| Indice de maquinaria | | Produccion | | dII (35-39=100)dII(19820100) Consumer price(BLS) EUA | |
| año | 1935-39=100 | 1957-59=100 | Poder compra dolar | base 1982 | base82ajustada |
| 1900 | | | | | |
| 1905 | | | | | |
| 1910 | | | | | |
| 1915 | | | | | |
| 1920 | | | | 60 | |
| 1930 | | | | 50 | |
| 1932 | 43 | | | 40.9 | |
| 1933 | 50 | | | 38.8 | |
| 1934 | 69 | | | 40.1 | |
| 1935 | 83 | | 100.5 | 41.1 | |
| 1936 | 105 | | 99.6 | 41.5 | |
| 1937 | 126 | | 93.2 | 43 | |
| 1938 | 82 | | 102.3 | 42.2 | |
| 1939 | 104 | | 104.3 | 41.6 | |
| 1940 | 136 | | 102.3 | 42 | |
| 1941 | 221 | | 92.1 | 44.1 | |
| 1942 | 340 | | 81.4 | 48.8 | |
| 1943 | 443 | | 78 | 51.8 | |
| 1944 | 439 | | 77.4 | 52.7 | |
| 1945 | 343 | | 76 | 53.9 | |
| 1946 | 240 | | 66.4 | 58.5 | |
| 1947 | 276 | | 52.8 | 66.9 | |
| 1948 | 277 | | 48.7 | 72.1 | |
| 1949 | 234 | | 51.9 | 71.4 | |
| 1950 | 270 | 73 | 49.8 | 3.546 | 72.1 |
| 1951 | | | 44.6 | 3.247 | 77.8 |
| 1952 | | | | 3.268 | 79.5 |
| 1953 | | | | 3.3 | 80.1 |
| 1954 | | | | 3.289 | 80.5 |
| 1955 | | 97 | | 3.279 | 80.2 |
| 1956 | | | | 3.195 | 81.4 |
| 1957 | | | | 3.077 | 84.3 |
| 1958 | | | | 3.012 | 86.6 |
| 1959 | | | | 3.021 | 87.3 |
| 1960 | | 111 | | 2.994 | 88.7 |
| 1961 | | | | 2.994 | 89.6 |
| 1962 | | | | 2.985 | 90.6 |
| 1963 | | | | 2.994 | 91.7 |
| 1964 | | 141 | | 2.985 | 92.9 |
| 1965 | | 161 | | 2.933 | 94.5 |
| 1966 | | 184 | | 2.841 | 97.2 |
| 1967 | | 183 | | 2.809 | 100 |
| 1968 | | 184 | | 2.732 | 104.2 |
| 1969 | | 190 | | 2.632 | 109.8 |
| 1970 | | | | 2.545 | 116.3 |
| 1971 | | | | 2.469 | 2.574 2.48695652 |
| 1972 | | | | 2.392 | 2.466 2.3826087 |
| 1973 | | | | 2.193 | 2.391 2.31014493 |
| 1974 | | | | 1.901 | 2.251 2.17487923 |
| 1975 | | | | 1.718 | 2.029 1.96038647 |
| 1976 | | | | 1.645 | 1.859 1.79613527 |
| 1977 | | | | 1.546 | 1.757 1.69758454 |
| 1978 | | | | 1.433 | 1.649 1.59323671 |
| 1979 | | | | 1.289 | 1.532 1.48019324 |
| 1980 | | | | 1.136 | 1.38 1.33333333 |
| 1981 | | | | 1.045 | 1.215 1.17391304 |
| 1982 | | | | 1 | 1.098 1.06086957 |
| 1983 | | | | 0.984 | 1.035 1 |
| 1984 | | | | 0.984 | 1.003 0.96908213 |
| 1985 | | | | 0.955 | 0.961 0.92850242 |
| 1986 | | | | 0.969 | 0.928 0.89661836 |
| 1987 | | | | 0.949 | 0.913 0.8821256 |
| 1988 | | | | 0.926 | 0.88 0.85024155 |
| 1989 | | | | 0.88 | 0.846 0.8173913 |
| 1990 | | | | 0.839 | 0.807 0.77971014 |
| 1991 | | | | 0.822 | 0.766 0.74009662 |
| 1992 | | | | 0.812 | 0.734 0.70917874 |
| 1993 | | | | | 0.713 0.68888889 |
| 1994 | | | | | |
| 1995 | | | | | |

Fuente: Anuario estadístico de la Industria de EUA
y Series historicas . Depto Commerce, varios años

| Cuadro A5-31-1 | | |
|---------------------|-----------------|------------------|
| Margen de resguardo | | |
| Año | Marg Resg X6 | Marg Efect X7 |
| 1900-30 | | |
| 1920-30 | 0.974 | 1 |
| 1930-40 | 0.75 | 1 |
| 1941-45 | 1.048 | 1 |
| 1946-50 | 0.9409 | 0.9 |
| 1941-50 | | |
| 1930-50 | | |
| 1951-55 | 0.879 | 1 |
| 1956-60 | 0.819 | 1 |
| 1951-60 | | |
| 1961-64 | 0.897 | 1 |
| 1965-69 | 0.875 | 0.986 |
| 1961-70 | | |
| 1970-74 | 0.827 | 1.001 |
| 1970-80 | | |
| 1975-85 | 0.941 | 1.0001 |
| 1986-92 | 1.05 | 0.95 |
| 1981-93 | | |
| Fuente: R-A5-4 | | |

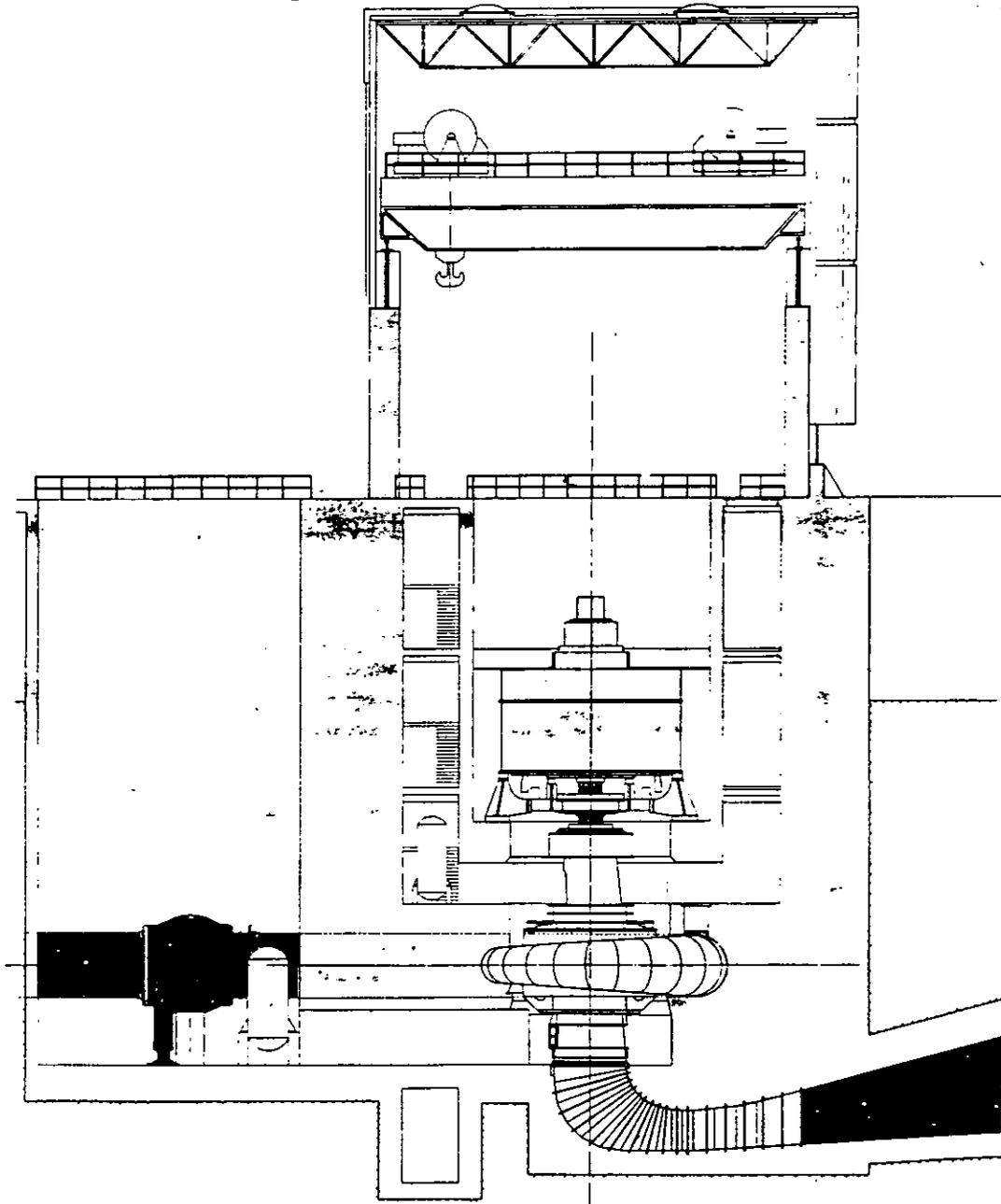
Cuadro A5-42-2
Parámetros de la función $N=\{H\}$

| Altura | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | ALTURA |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| 50 | 0.19784009 | 0.31224306 | 0.39568702 | 0.3611824 | 0.3578317 | 0.29848003 | 0.27912556 | 0.29824108 | 0.3013109 | 0.38767746 | 0.30666884 | 0.31987857 | 50 |
| 70 | 0.15791491 | 0.25688488 | 0.33329324 | 0.30218905 | 0.29971824 | 0.24667159 | 0.22886747 | 0.24619231 | 0.25040582 | 0.32536218 | 0.254259 | 0.26441817 | 70 |
| 85 | 0.13865533 | 0.22952628 | 0.30187202 | 0.27263942 | 0.27058353 | 0.22097489 | 0.20409612 | 0.2204 | 0.22504426 | 0.29407137 | 0.22819683 | 0.23690493 | 85 |
| 100 | 0.12435244 | 0.2088793 | 0.2778603 | 0.25013858 | 0.24838554 | 0.20153556 | 0.18543508 | 0.2009002 | 0.20580141 | 0.27020546 | 0.20844714 | 0.21608881 | 100 |
| 115 | 0.11323816 | 0.19261524 | 0.25874419 | 0.23227947 | 0.230758 | 0.18619169 | 0.17075765 | 0.18551653 | 0.19057439 | 0.25123647 | 0.19283561 | 0.19965646 | 115 |
| 130 | 0.10430945 | 0.17939414 | 0.24306107 | 0.21766605 | 0.21632781 | 0.17369663 | 0.15884199 | 0.17299465 | 0.17814741 | 0.23569612 | 0.18010654 | 0.18627378 | 130 |
| 140 | 0.09925745 | 0.17184668 | 0.23404599 | 0.20928245 | 0.20804663 | 0.16655418 | 0.15204648 | 0.16583928 | 0.17103222 | 0.22677263 | 0.17282343 | 0.17862343 | 140 |
| 150 | 0.09477434 | 0.16510585 | 0.22595396 | 0.20176801 | 0.20062223 | 0.16016897 | 0.14598158 | 0.15944406 | 0.16466381 | 0.21876901 | 0.16630799 | 0.17178981 | 150 |
| 160 | 0.09076415 | 0.1590398 | 0.21863783 | 0.19498315 | 0.19391719 | 0.15441778 | 0.14052743 | 0.15368518 | 0.15892139 | 0.21153802 | 0.16043574 | 0.16562305 | 160 |
| 170 | 0.08715184 | 0.15354477 | 0.2119813 | 0.1881772 | 0.18782304 | 0.14920361 | 0.13558981 | 0.14846514 | 0.15370976 | 0.20496341 | 0.15510861 | 0.1600373 | 170 |
| 180 | 0.08387784 | 0.14853792 | 0.20589108 | 0.18318346 | 0.18225283 | 0.14444892 | 0.13109349 | 0.14370605 | 0.14895273 | 0.19895195 | 0.15024816 | 0.15494357 | 180 |
| 190 | 0.08089418 | 0.1439522 | 0.20029134 | 0.17800872 | 0.17713598 | 0.14009089 | 0.12697765 | 0.13934482 | 0.14558854 | 0.19342796 | 0.14579082 | 0.15027461 | 190 |
| 200 | 0.07816176 | 0.13973269 | 0.19511974 | 0.17323466 | 0.17241451 | 0.13607806 | 0.12319248 | 0.13532975 | 0.14056651 | 0.18832922 | 0.14168446 | 0.14597531 | 200 |
| 210 | 0.07564837 | 0.13583391 | 0.19032449 | 0.16881244 | 0.16804029 | 0.13236777 | 0.11969679 | 0.13161803 | 0.13684462 | 0.18360408 | 0.13788588 | 0.14200001 | 210 |
| 220 | 0.07332724 | 0.1322179 | 0.18586214 | 0.16470116 | 0.16397298 | 0.12892436 | 0.11645618 | 0.12817385 | 0.13338773 | 0.17920924 | 0.13435892 | 0.13831054 | 220 |
| 230 | 0.07117588 | 0.12885262 | 0.18169598 | 0.16086625 | 0.16017851 | 0.12571778 | 0.11344164 | 0.12496705 | 0.13016614 | 0.17510811 | 0.13107309 | 0.1348747 | 230 |
| 240 | 0.06917526 | 0.12571088 | 0.17779468 | 0.15727827 | 0.15662787 | 0.12272245 | 0.10628856 | 0.12197195 | 0.12715463 | 0.17126953 | 0.12800245 | 0.13166612 | 240 |
| 250 | 0.06730918 | 0.12276942 | 0.1741314 | 0.153912 | 0.15329617 | 0.11991648 | 0.10799591 | 0.1191666 | 0.12433155 | 0.16766676 | 0.12512479 | 0.12865836 | 250 |
| 270 | 0.06392691 | 0.11740982 | 0.16742912 | 0.14776034 | 0.14720651 | 0.11479976 | 0.1032018 | 0.11405203 | 0.1191786 | 0.16107935 | 0.11987437 | 0.12317527 | 270 |
| 290 | 0.0609388 | 0.11264309 | 0.16143717 | 0.14226882 | 0.141769 | 0.11024451 | 0.09894118 | 0.10949985 | 0.11458544 | 0.15519483 | 0.11519676 | 0.1182936 | 290 |
| 310 | 0.05827618 | 0.10836914 | 0.1560386 | 0.13732796 | 0.13687562 | 0.10615639 | 0.09512365 | 0.10541544 | 0.11045857 | 0.14989701 | 0.11099604 | 0.11391232 | 310 |
| 330 | 0.05588584 | 0.10450987 | 0.15114173 | 0.13285206 | 0.13244178 | 0.10246173 | 0.09167875 | 0.10172494 | 0.10672488 | 0.14509487 | 0.10719726 | 0.10995253 | 330 |
| 350 | 0.05372583 | 0.10100339 | 0.14667355 | 0.12877294 | 0.12840019 | 0.09910207 | 0.08855065 | 0.09836975 | 0.10332631 | 0.140716 | 0.10374091 | 0.10635163 | 350 |
| 375 | 0.05129922 | 0.09704145 | 0.14160238 | 0.12414925 | 0.12381807 | 0.09530278 | 0.0850185 | 0.09457635 | 0.09947894 | 0.13574963 | 0.09982987 | 0.10227935 | 375 |
| 400 | 0.04912859 | 0.0934761 | 0.13701746 | 0.11997448 | 0.11967993 | 0.09188074 | 0.08184205 | 0.09116039 | 0.09600975 | 0.13126268 | 0.09630493 | 0.09861126 | 400 |
| 450 | 0.04540119 | 0.0873036 | 0.12902924 | 0.11271405 | 0.11248103 | 0.08594913 | 0.0763478 | 0.08524114 | 0.08998735 | 0.12345283 | 0.09018962 | 0.09225275 | 450 |
| 500 | 0.0423072 | 0.08212829 | 0.12227898 | 0.10659248 | 0.10640911 | 0.08096835 | 0.07174632 | 0.08027263 | 0.08492095 | 0.11686126 | 0.08504909 | 0.08691308 | 500 |

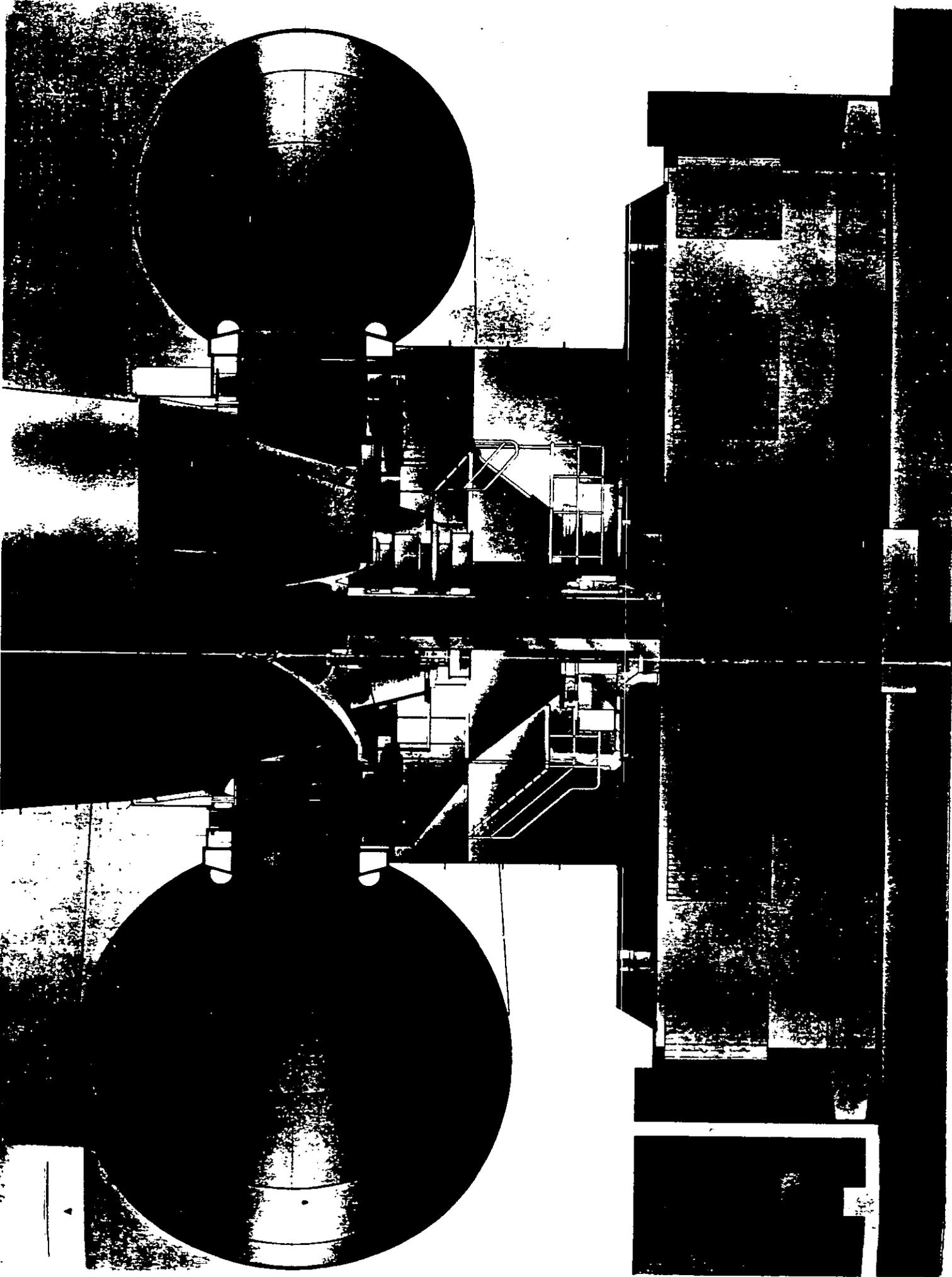
Fuente: Cuadros A5-42.1, 2, 3 y Cuadro A5-10 R-A-5 R-A-7

| ALTURA mts | Cuadro A5-42-3 Componente H-Ns | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | 1920-30 | 1930-40 | 1940-45 | 1945-50 | 1950-55 | 1955-60 | 1960-64 | 1965-69 | 1970-74 | 1975-85 | 1985-88 | 1989-92 |
| 50 | 204.060531 | 316.221016 | 398.833572 | 364.626828 | 361.308075 | 302.638945 | 283.568469 | 302.403281 | 305.431268 | 390.888489 | 310.718163 | 323.762723 |
| 70 | 172.734239 | 266.251461 | 340.564802 | 310.190618 | 307.784054 | 256.411535 | 239.333067 | 255.950493 | 260.005916 | 332.807072 | 263.718863 | 273.526905 |
| 85 | 162.635482 | 244.759709 | 313.610768 | 285.582305 | 283.620254 | 236.759165 | 221.088725 | 236.222689 | 240.561673 | 306.109413 | 243.513432 | 251.692167 |
| 100 | 159.572957 | 231.582732 | 295.307211 | 269.386913 | 267.758925 | 224.981294 | 210.680256 | 224.412323 | 228.810447 | 288.116283 | 231.193015 | 238.105802 |
| 115 | 161.393562 | 224.333752 | 283.149353 | 259.18864 | 257.826013 | 218.843198 | 205.871747 | 218.269057 | 222.583911 | 276.305567 | 224.522992 | 230.407686 |
| 130 | 166.674716 | 221.545161 | 275.642307 | 253.53207 | 252.384073 | 216.957412 | 205.257835 | 216.395812 | 220.536841 | 269.170317 | 222.122415 | 227.151759 |
| 140 | 171.615973 | 221.655771 | 272.722435 | 251.79187 | 250.765624 | 217.578253 | 206.683651 | 217.031484 | 221.02493 | 266.506712 | 222.41389 | 226.950058 |
| 150 | 177.432172 | 223.089368 | 271.210608 | 251.416646 | 250.498059 | 219.440422 | 209.309871 | 218.911876 | 222.742384 | 265.254367 | 223.960592 | 228.056303 |
| 160 | 183.951434 | 225.596226 | 270.928962 | 252.226941 | 251.403815 | 222.361982 | 212.950604 | 221.853856 | 225.512768 | 265.232605 | 226.582491 | 230.284594 |
| 170 | 191.037807 | 229.076399 | 271.727939 | 254.071115 | 253.332774 | 226.189561 | 217.450214 | 225.703117 | 229.187019 | 266.289312 | 230.127528 | 233.47792 |
| 180 | 198.583717 | 233.374195 | 273.479682 | 256.819351 | 256.156387 | 230.793175 | 222.678026 | 230.328956 | 233.63843 | 268.294389 | 234.466435 | 237.502653 |
| 190 | 206.503918 | 238.374153 | 276.073578 | 260.359565 | 259.763655 | 236.062403 | 228.524229 | 235.620411 | 238.758969 | 271.135346 | 239.488964 | 242.244625 |
| 200 | 214.730669 | 243.977916 | 279.413158 | 264.594494 | 264.058258 | 241.903363 | 234.896547 | 241.48321 | 244.456423 | 274.714205 | 245.100974 | 247.60612 |
| 210 | 223.209938 | 250.101683 | 283.41385 | 269.439493 | 268.956386 | 248.236229 | 241.717444 | 247.837255 | 250.652051 | 278.945257 | 251.222045 | 253.503457 |
| 220 | 231.898435 | 256.674059 | 288.001278 | 274.8208 | 274.385017 | 254.993121 | 248.921756 | 254.614487 | 257.278615 | 283.753328 | 257.783474 | 259.864976 |
| 230 | 240.761304 | 263.634212 | 293.109925 | 280.674097 | 280.280496 | 262.11631 | 256.454684 | 261.757068 | 264.278688 | 289.072398 | 264.726566 | 266.629302 |
| 240 | 249.770327 | 270.930296 | 296.662021 | 266.943294 | 266.567318 | 269.556671 | 264.270087 | 269.215917 | 271.603201 | 294.844455 | 272.001153 | 273.743864 |
| 250 | 258.902541 | 278.518096 | 304.666614 | 293.579466 | 293.257082 | 277.272362 | 272.329059 | 276.948876 | 279.210197 | 301.018508 | 279.564327 | 281.163608 |
| 270 | 277.464682 | 294.423276 | 317.698771 | 307.787456 | 307.521961 | 293.392203 | 289.051228 | 293.100437 | 295.133086 | 314.398725 | 295.414732 | 296.769518 |
| 290 | 296.33349 | 311.108448 | 331.906551 | 323.017675 | 322.797847 | 310.24805 | 306.413703 | 309.98422 | 311.816972 | 328.915544 | 312.042133 | 313.19862 |
| 310 | 315.430045 | 328.395905 | 347.056255 | 339.055998 | 338.873038 | 327.672367 | 324.266108 | 327.433068 | 329.091318 | 344.338659 | 329.272107 | 330.266584 |
| 330 | 334.698712 | 346.153598 | 362.96532 | 355.736204 | 355.585188 | 345.540745 | 342.498165 | 345.322983 | 346.828777 | 360.489282 | 346.974426 | 347.835535 |
| 350 | 354.099512 | 364.282424 | 379.49062 | 372.937623 | 372.809079 | 363.759839 | 361.028001 | 363.561011 | 364.933318 | 377.228039 | 365.050922 | 365.801408 |
| 375 | 378.492549 | 387.352608 | 400.844402 | 395.016502 | 394.912541 | 386.92069 | 384.516769 | 386.742403 | 387.970436 | 398.814444 | 388.060567 | 388.697911 |
| 400 | 403.00573 | 410.777047 | 422.81649 | 417.604928 | 417.520401 | 410.416948 | 408.286813 | 410.256282 | 411.361 | 420.986808 | 411.423994 | 411.975948 |
| 450 | 452.284499 | 458.390574 | 468.133041 | 463.901344 | 463.844782 | 458.134536 | 456.430703 | 458.00224 | 458.909276 | 466.626833 | 458.948982 | 459.358868 |
| 500 | 501.786707 | 506.700164 | 514.735028 | 511.235716 | 511.197514 | 506.513449 | 505.121306 | 506.4027 | 507.160298 | 513.474978 | 507.181769 | 507.497669 |
| | 8889.06565 | 7847.28025 | 8836.18454 | 8425.53995 | 8405.18962 | 7785.69423 | 7559.59907 | 7755.76541 | 7828.47821 | 8713.73134 | 7857.60295 | 7947.07658 |

Fuente: A5-41, A5-42-1,2 R-A3, R-A7



Implantación típica.



Hydraulic Machines for Power Generation

Since SULZER Group the design and manufacture of hydraulic machines for power generation has a long tradition. The first hydraulic machines were made by ESCHER WYSS as early as 1844. During the following decades the designs have been tested, improved, and now are of a high technological standard. The diagram below shows the types of turbines currently manufactured by SEW for the various fields of application.

Furthermore, a wide range of machinery has also included: pumps, turbines, and reverse pumps; turbines for high and low heads; single-stage and multi-stage type turbines; storage stations; penstocks and the required electrical systems, as well as penstock valves and spherical valves.

Up to a defined capacity, Kaplan-S, Francis, and Pelton turbines are standardized. The standardized Ball-Bear-Bell Turbines have been added to cover the requirements for small low-head hydroelectric potentials, the Ball-Bell.

In addition, we also have a line of special impulse turbines for power and/or applications.

To date, we have supplied more than 15,000 turbines with a aggregate installed capacity of more than 140,000 MW.

In the following pages, you will find a grid with technical specifications showing the most frequently used hydraulic machines and equipment.

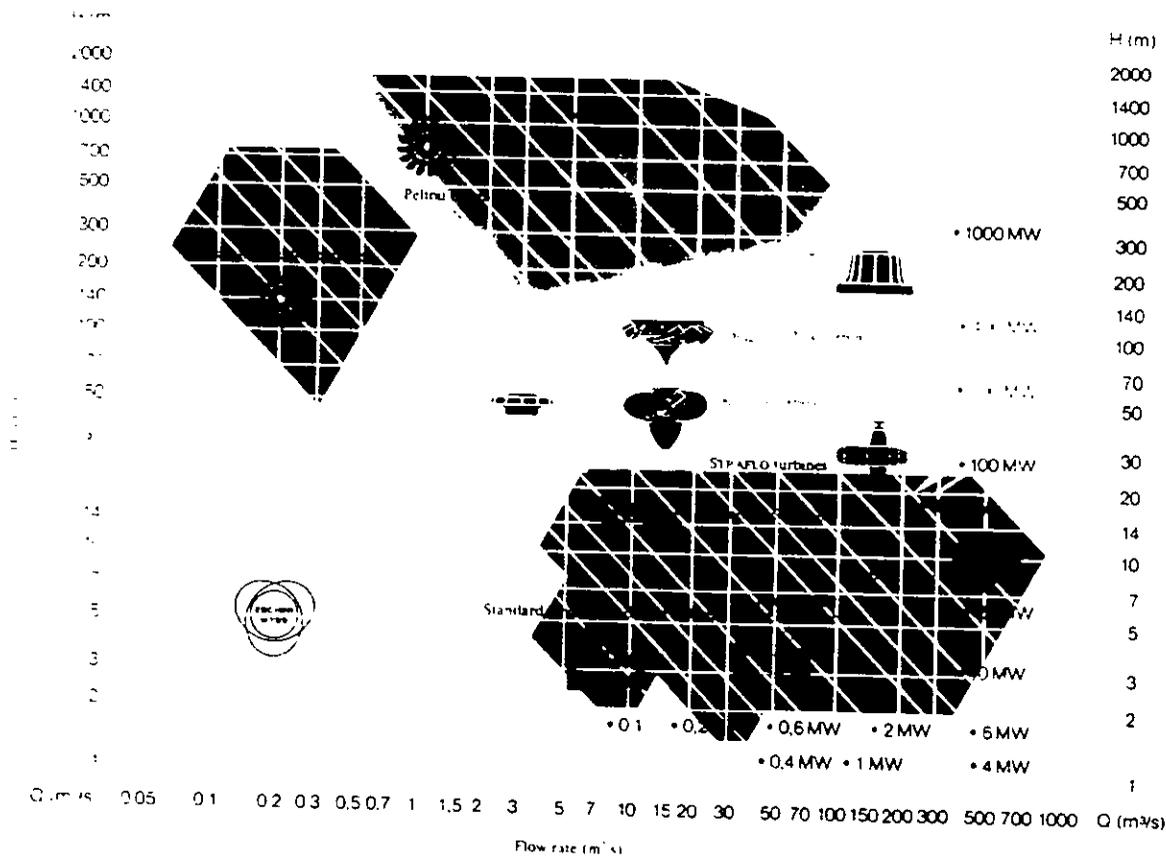


Diagrama A-5-3
Relación de velocidad específica y altura

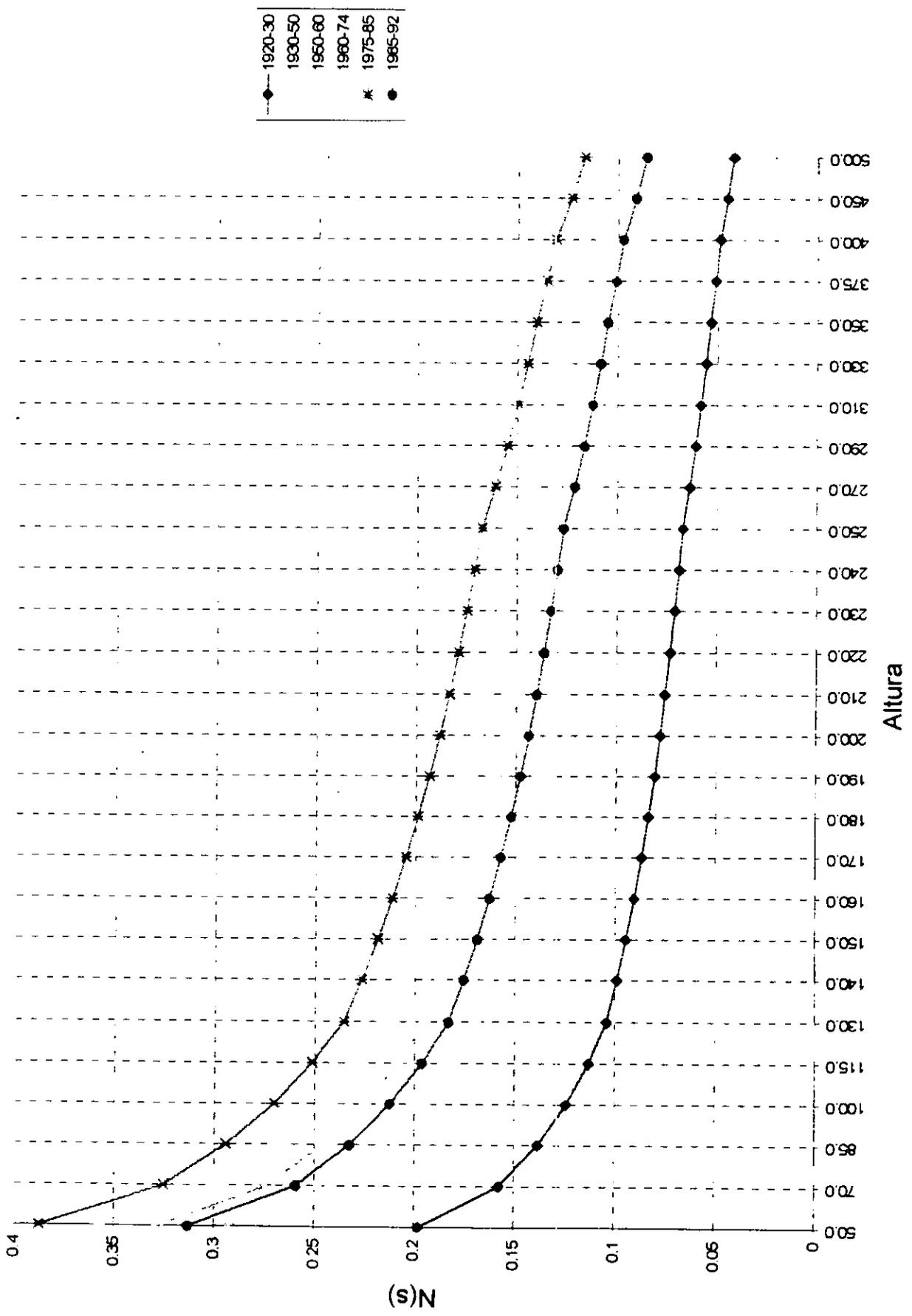


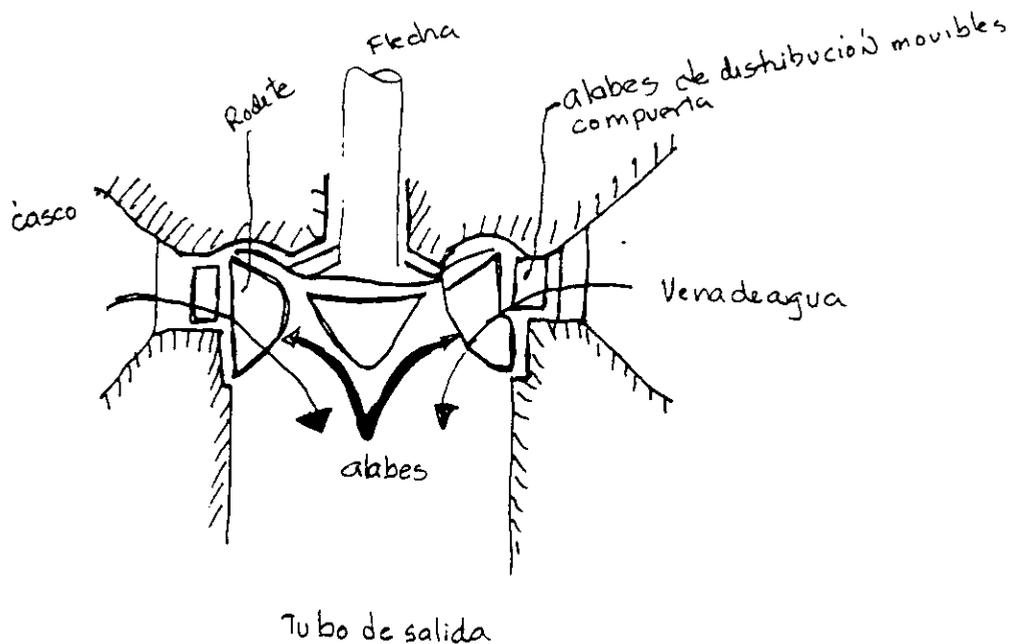
Diagrama D-A5-1

Turbina Francis

En las turbinas de reacción como la Francis, el flujo toma la forma de un ducto convergente y el agua se acelera al difundirse por el casco desde la toma de agua hasta la turbina. Las venas y las compuertas se forman y bolean para facilitar el deslizamiento del agua. Con el espacio de salida mayor que el de entrada todavía hay una presión substancial en el rodete que acelera el agua.

Abajo de la turbina, y cuando esta es vertical, el tubo de desfogue es el que diverge gradualmente desde la toma de agua, convirtiendo la velocidad de la altura en una altura estática con eficiencia de 85%. De esta manera se forma una columna continua de agua desde la parte de arriba de la presa hasta la tubería de desfogue y la turbina puede entonces situarse teóricamente a unos 34 pies arriba del canal de desfogue, punto en el cual se podría separar el agua. Se puede considerar prácticamente hasta 25 pies arriba de la tubería de desfogue para aplicaciones de turbinas. Las unidades se colocan más abajo para el bombeo.

En la medida que el agua entra en la tubería de desfogue a bajas velocidades (usualmente el equivalente a una velocidad de un pie de altura) y si el canal es liso, con pocas pérdidas por fricción desde la cámara de presión hasta la salida de desfogue, la turbina convierte la mayoría de la energía del agua que cae, un 90% de la carga de diseño en uso potencial



R-A5-1

Recuadro de datos técnicos de la turbina Francis

Leyes de similitud

El concepto de similitud dinámica (homólogo) permite que se puedan predecir con precisión las características de comportamiento de la turbina a escala completa a partir de los resultados de las pruebas a escala llevadas a cabo en los modelos de laboratorio.

Dos máquinas se consideran geoméricamente similares si las razones de todas las dimensiones correspondientes son iguales. Se les llama cinemáticamente similares si las razones de todas las velocidades de partículas homogéneas son iguales.

Máquinas diferentes son dinámicamente similares si ellas son: Geométricamente similares, Cinemáticamente similares y si las razones de todas las fuerzas son iguales.

Relaciones de homologación.

Un análisis dimensional de comportamiento sobre los parámetros físicos como la altura (H), el flujo (Q), la velocidad (rpm), la potencia (P), el diámetro (D) repercute varias relaciones o números característicos los cuales son constantes para tanto el prototipo como el modelo de turbina. Estas relaciones son:

1. Q-N-D
 $Q/ND^3 = \text{Constante}$
2. P-N-D
 $P/N^3D^5 = \text{Constante}$
3. D-N-H
 $DN/(gH)^{0.5} = \text{Constante}$
4. Q-H-D
 $Q/D^2 (gH)^{0.5} = \text{Constante}$
5. P-H-D
 $P/(gH)^{1.5} D^2 = \text{Constante}$

donde :

Q= Tasa de flujo
N= RPM
D= Diametro
P= Potencia
H= Altura
g= Aceleración por la gravedad
 ρ = Densidad del agua

A los primeros tres coeficientes comúnmente se les llama coeficientes de velocidad, mientras que los dos últimos son de altura.

También se usa el número Reynolds para la similitud. Este número puede estimarse bajo diferentes formulaciones. Las más comunes son las fórmulas de Hutton, Moody y Ackeret.

$$\text{Moody} \quad \frac{1-e(\text{Prototipo})}{1-e(\text{Modelo})} = \left[\frac{\text{Diámetro del Modelo}}{\text{Diámetro del Prototipo}} \right]^{0.2}$$

$$\text{Hutton} \quad (1-e) = (1-e) * \left[0.3 + 0.7 \left[\frac{Re_m}{Re_p} \right]^{0.2} \right]$$

$$\text{Ackert} \quad (1-e) = (1-e) \left[0.5 + 0.5 \left[\frac{Re_m}{Re_p} \right]^{0.2} \right]$$

La mayor parte de la información sobre los modelos se presenta usando las relaciones antes mencionadas

La relación de tamaño (D), velocidad (N) y altura (H) se define por N_1' la cual es proporcional a la inversa de la raíz cuadrada de la altura. Así N_1' se define como la velocidad a la cual la máquina rotaría si el rodete de referencia tuviera un diámetro (de afuera) de un metro y la altura un metro también.

$$\frac{DN}{\sqrt{H}} = \text{Constante}$$

$$D = \text{Diámetro actual del Modelo} = 0.494 \text{ m}$$

$$N = \text{R.P.M actual} = 1367.9$$

$$H = \text{ALTURA Modelo actual} = 61.139 \text{ m}$$

$$\frac{DN}{\sqrt{H}} = \frac{(0.49403)(1367.9)}{\sqrt{61.139}} = \frac{1 * N_1'}{\sqrt{1}}$$

$$N_1' = 86.427$$

La tasa de flujo (q) y la potencia son definidas por coeficientes similares

$$Q_1' = Q / (\sqrt{H} * D^2)$$

$$K_{W_1}' = K_W / (H^{1.5} * D^2)$$

donde y' en esta relación indica la misma condición para lo mismo que N_1'

Curvas características y datos

El modelo se refiere a incorporar todas las partes mojadas de la turbina desde la entrada (espiral) hasta la salida (tubo de succión). Los mecanismos de regulación y compuertas no se consideran aquí (ver grafica siguiente).

Durante las primeras pruebas todos los rangos factibles de altura y potencia del prototipo de la planta son simulados por un rango amplio de $N1'$ y $kW1'$. En todo esto los rangos de eficiencia, potencia, flujo, cavitación son considerados. La información típica para modelar es la siguiente:

- RPM (variable del modelo)
- Torque
- Altura neta
- Flujo (tasa)
- Empuje

Opcionales

- Torques de compuertas
- Pulsaciones
- Emisiones acústicas
- Empuje radial
- Distribución del flujo

Estudios visuales

- Cavitación
- Patrones de flujo

En la medida que se alimenta de información al modelo, se analizan algunas características como la eficiencia, la altura, la potencia y el flujo y se grafican como se muestra en la figura de abajo. Cuando la máquina es ajustable se obtiene una curva para cada alabe.

Cavitación

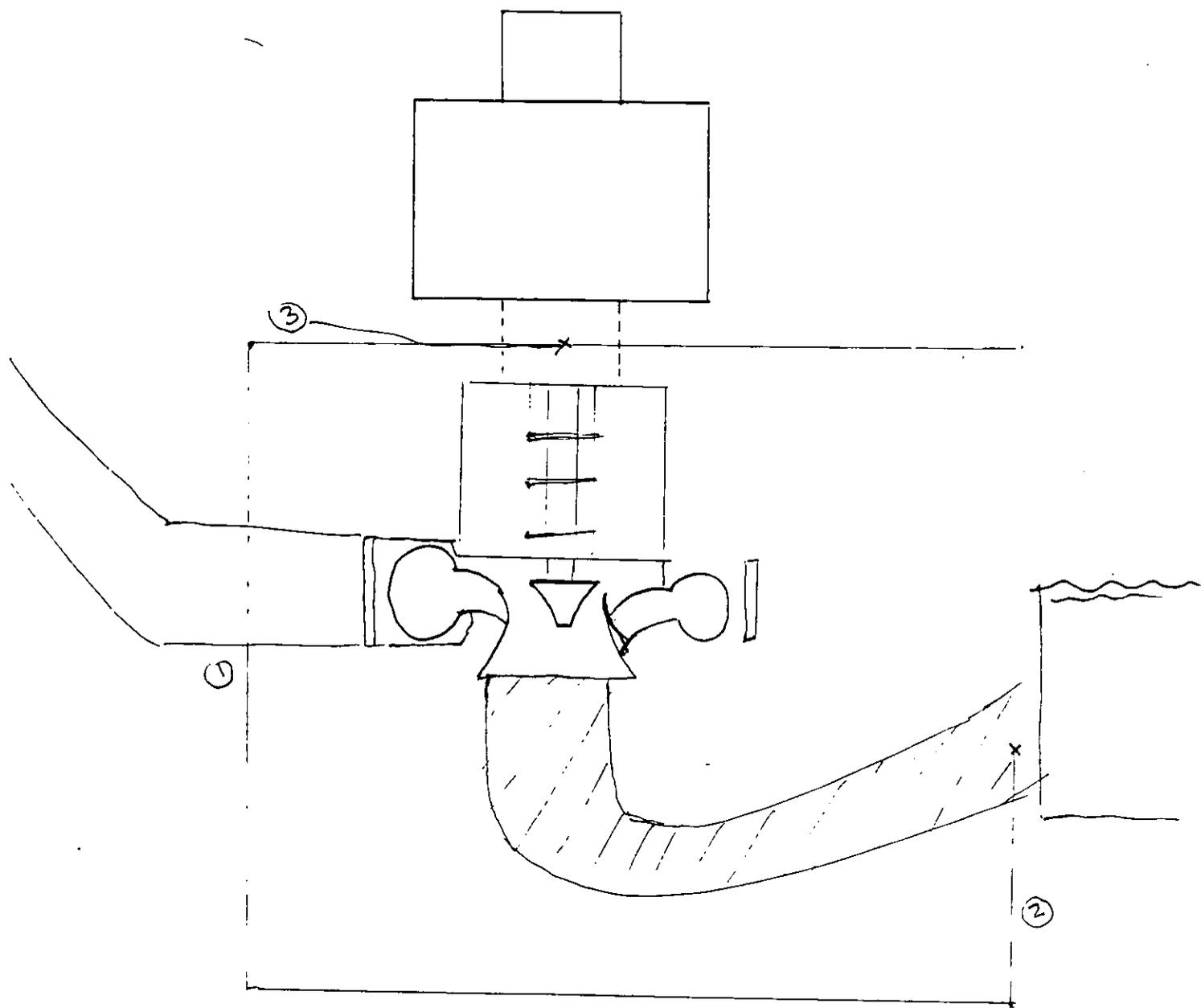
Otro parte importante que se prueba en el modelo es el fenómeno de la cavitación .

La cavitación es un fenómeno de formación de burbujas de vapor en una área de baja presión que se mueven a otra área de alta presión con un correspondiente colapso violento. Hay varias formas en las cuales se manifiesta la cavitación. La mas común es la evidencia de remoción del metal . Otras son el ruido, la vibración y la reducción de la eficiencia y potencia. El proceso puede iniciarse por la presión de vapor del agua a varias temperaturas . (puede iniciarse cuando el agua empieza a hervir, a 212° F y a una presión atmosférica de 14.7 psi). Sin embargo si la presión baja a valores de aproximadamente 0.27 psi se empieza a hervir con la formación de burbujas a temperaturas de $50-60^{\circ}$ F (típicas de plantas hidroeléctricas). Hay una variedad de razones por la cual el agua al pasar por la turbina, experimenta presiones bajas en determinadas áreas de la turbina y en consecuencia la formación de burbujas. Una vez formada la burbuja y el movimiento hacia áreas de mayor presión , las burbujas se colapsan en varias etapas apareciendo jets con velocidades muy extremas y altas asociadas con el colapso, como se muestra en la figura de abajo.

Hay varias causas posibles de la cavitación. Unas son:

- Separación y contracción del flujo
- Desviación de líneas de corrientes de los ángulos de diseño
- Decremento de presiones
- Incremento de velocidades
- Movimiento repentino de flujo y parada del flujo de agua.

DIAGRAMA R-A5-1-1



- Se modelan todas las superficies de 1 a 2
- No se modelan las partes de afuera
- La eficiencia se refiere a lo sombreado

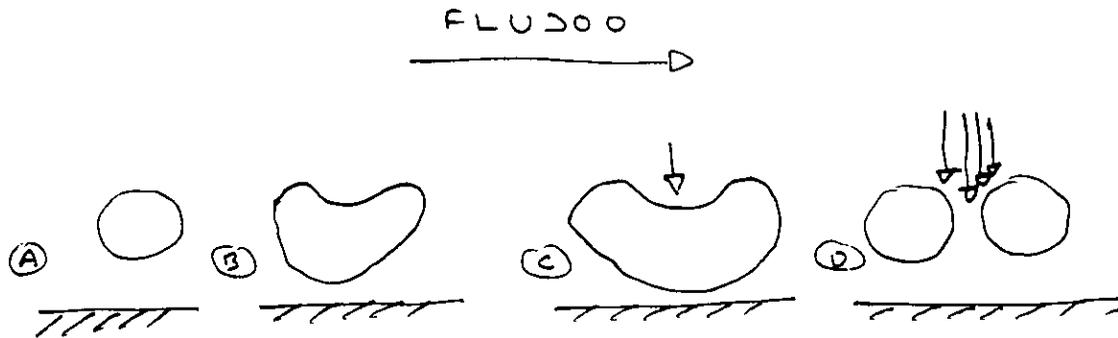
$$\text{eficiencia} = \frac{\text{output}}{\text{input}}$$

$$\frac{\text{Torque de la flecha (3)} \times \text{rpm}}{\text{altura neta} \times \text{Tasa de flujo}}$$

- Altura neta = altura ① - altura ②

R-A5-1-2

COLAPSO DE BURBUJA



- (A) Burbuja original
- (B) Depresión del lado opuesto a la pared
- (C) Ingreso del liquido dentro de la zona creciente de la depresión
- (D) formación del Jet

PRESION DE VAPOR DE AGUA

| <u>Lb/in²</u> | <u>F°</u> |
|--------------------------|-----------|
| 0.089 | 32 |
| 0.126 | 41 |
| 0.173 | 50 |
| 0.245 | 59 |
| 0.339 | 68 |
| 1.07 | 104 |
| 2.89 | 140 |
| 6.87 | 176 |
| 14.7 | 212 |
| 28.8 | 248 |
| 52.4 | 284 |
| 145 | 356 |
| 225 | 392 |
| 336 | 428 |

Coefficiente Sigma.

Thoma (1924) definió un coeficiente para medir la posible cavitación

$$\text{Sigma} = (H_b - h_v - h_s) / H$$

donde:

H_b = Presión barométrica

h_v = Presión de vapor

h_s = Nivel de sumergencia de desfogue

H = Altura neta

El comportamiento de la cavitación puede clasificarse de acuerdo a determinados patrones los cuales tienen efectos varios sobre el comportamiento de la turbina. Cercana a la mejor eficiencia, la cavitación ocurre cerca del tubo de descarga. Este tipo de cavitación está asociado fuertemente de la presión de succión de la turbina. Como el flujo se incrementa al su paso por la turbina, las velocidades se incrementan y por lo tanto la presión local estática se decreta incrementándose así la posibilidad de este tipo de cavitación. A una presión de succión dada hay una tasa de flujo correspondiente arriba de la cual habrá cavitación. Consúltese a Wegg (1992), Rabee (1984, 92). Mataix (1982)

Velocidad Específica

Una turbina determinada operando a una altura dada tendrá una eficiencia máxima a una determinada velocidad N entre cero e infinito. A la velocidad de eficiencia máxima tendrá una cierta potencia P . Para máquinas homólogas operando a la misma altura, $NP^{1/2}$ es una constante. Si la altura varía dentro de las máquinas homólogas, $NP^{1/2}$ varía. Pero si la altura es un metro, luego $nP^{1/2}$ es la misma para todas las máquinas homólogas sin considerar los diámetros respectivos de cada una. Esta es llamada velocidad específica N_s y es medida en unidades de revoluciones por minuto y potencia. Es decir $N_s = NP^{1/2}$ a un metro de altura. Donde N es la velocidad de máxima eficiencia y P es la potencia de salida a esa velocidad. La potencia a un metro de altura es relacionada a la actual potencia y altura por medio de las leyes de similitud antes descritas. la velocidad específica es también las rpm de la mejor eficiencia que el tamaño de la máquina tendría para desarrollar una potencia de un Kw a un metro de altura.

Las turbinas hidráulicas son típicamente clasificadas de acuerdo con la velocidad específica. En la industria se usan diferentes definiciones de velocidad específica. Una de ellas es la siguiente

$$N_q = (N Q^{1/2}) / H^{0.75}$$

Estas se derivan mediante la combinación de las relaciones de afinidad Q-N-D y Q-H-D antes mencionadas y eliminando el diámetro de ambas ecuaciones. La N_q es la velocidad a la cual una unidad operaría bajo un metro de altura a un flujo de un metro cúbico por segundo. El valor numérico de este valor varía según el sistema de unidades y el punto de operación que se defina. Normalmente se utiliza el punto de máxima eficiencia. Otra forma de definir la velocidad específica es $N_s = NP^{0.5} H^{-1.25}$.

N.1

EFFICIENCY %

LINES OF CONSTANT GATE OPENING

KW.

Q

Recuadro R-A5-3

Fuentes de Información

1. Fuentes de información en general

La información que se utilizó para el análisis de datos proviene de una depuración compleja de la información convencional. Los detalles del análisis de datos para cada variable se explican más adelante. La información provino de: a) información directa de fabricantes, consumidores de turbinas y equipo y entrevistas con especialistas en el tema de motores hidráulicos, turbinas, y materiales; b) revistas especializadas producidas por los mismos fabricantes y asociaciones; c) estadísticas y publicaciones de gobiernos y agencias internacionales; d) artículos en revistas académicas y libros; e) seminarios y congresos (especialmente sobre máquinas herramienta, microprocesadores, e informática).

2. Universo de turbinas

Aunque la información que se encontró con respecto a la producción de turbinas data de 1900, para la estimación de la N_s se prefirió considerar prácticamente el universo de turbinas fabricadas a partir de 1920 ya que la información mostró mayor solidez para un análisis estadístico y porque las turbinas de principio de siglo son en su mayoría menores a los 15 MW. De esta manera se prefirió evitar el problema de un gran diferencial en la potencia omitiendo en gran parte a las turbinas menores de los 15 MW y con esto a una gran proporción en el periodo 1900-20.

La información se agrupó en quinquenios y se hicieron agrupaciones a partir de esta división para facilitar la comparación con otros análisis y para ajustarla a otro tipo de variables donde la información no era tan abundante. Esta información provino de fabricantes y una depuración consistió en eliminar las turbinas-bombas, y los ajustes a la fabricación de turbinas de varias empresas, en especial y grandes proyectos. La información que se obtuvo de esta fuente incluye el fabricante, el lugar de la explotación el año, la caída, la potencia, y las rpm. Se estimó la N_s a partir de esta información y una depuración para encontrar la altura neta. Aunque hoy en día la mayoría de los análisis estiman la N_s a partir de la tasa de flujo, se utilizó la formulación que contiene la potencia ya que no siempre se contó con la información del flujo. Es a partir de esta información como se obtiene una distribución de potencias y alturas explotadas por fabricante y país.

3. Fabricantes de turbinas occidentales

Debido a que la información contiene el nombre del fabricante, año y lugar también sirvió para analizar los índices de concentración. Solamente que para este caso nada más se utilizaron fabricantes de turbinas occidentales y no se incluyeron los países ex-socialistas ni los asiáticos, a excepción de Japón y Taiwan.

4. Información de la CFE

La información por parte de demandantes se basó en la Comisión Federal de Electricidad. A través de diferentes publicaciones, manuales y boletines que aparecen en la bibliografía y en las referencias y a través de una consulta directa con personal de diferentes áreas (construcción, turbinas, mantenimiento) se obtuvo información de tamaño, diámetros, peso, eficiencia, precio, términos de contratos, y normas de las turbinas que administra no sólo la CFE sino la Compañía de Luz y Fuerza del Centro. En algunos casos, como el peso y los diámetros del rodete, la información se basó en una consulta directa con el departamento de mantenimiento.

Asimismo la información de horas trabajadas y disponibilidad de la turbina en un año, así como la potencia de placa y la real se basó en entrevistas con personal de mantenimiento de la CFE.

5. Principales fabricantes

A través de encuestas por fax y entrevistas se obtuvo información sobre el precio de venta de las turbinas, costos de producción, intensidad en los procesos, materiales, normas. El cuestionario que se muestra a continuación es una guía de cómo se pidió la información. Esta información fue la más difícil de obtener sobretodo por las siguientes razones: a) secrecía y seriedad ante los clientes; b) a pesar de que la información que se pidió se remite a los años treinta y tiene un efecto menor sobre el cliente y la competencia se destruye mucha información ya que fiscalmente solamente tiene un efecto de alrededor de 8 años según el país. En otros casos sale muy costoso ir a los archivos muertos y localizar las memorias de

cada proyecto y turbina para sacar la información, y difilmente se permite la consulta de peronas ajenas a la empresa. Toda la información que se maneja es proporcionada por empleados de las firmas; c) la información mas reciente todavía guarda el nivel de secrecía y discreción tanto por el compromiso con el cliente como por la competencia.

Otra fuente de información fueron los diferentes estudios y bienes de capital elaborados por instituciones y bancos de desarrollo en diferentes periodos (Onudi-Nafinsa, BID), así como las curvas de costos, potencia y alturas estimadas, y normas publicadas eventualmente en revistas especializadas por asociaciones y cámaras de motores hidráulicos, y turbinas.

Las limitantes de esta información en comparación al universo de turbinas fabricadas hizo que el analisis dinamico para estimar los indices tecno-económicos se concentrara en un promedio de información con una aproximación quinquenal.

6. Estadísticas y publicaciones de la manufactura en los Estados Unidos

Se consultaron diferentes fuentes para las estimaciones de la productividad de la mano de obra, salarios de la manufactura, índice de precios de la metal mecanica, costo de vida, precios del acero.

- Anuario Estadístico de EUA. Diferentes años desde 1949
- The Statistical History of the U.S. from Colonial Times to the Present.
- American & Steel Institute, Annual Directory
- Industrial Outlook, diferentes años desde 1980.
- OIT Anuario Estadístico , diferentes años.

7. Artículos y libros

- Se consultaron diferentes estudios en los cuales se estima la productividad de la mano de obra en la industria de bienes de capital, :

Ayres (1985), Rosenberg (1979), Alexander y Mitchell (1985), Ehrnberg y Jacobsson (1993). Nafinsa-Onudi (varias publicaciones), Historia de la Tecnología.

Se consultaron las siguientes obras para identificar las características de los materiales y modulos : Rabee(1989), Mataix (1982), Enciclopedia de la Energía, VDMA, Vincent (1990), Scranton (1991), Higgins (1978), Hanley (1980).

Recuadro R-A5-4

Información para el tamaño, peso, disponibilidad y eficiencia

La información que se utilizó para analizar las dimensiones de las turbinas se basó en encuestas directas al gerencia de mantenimiento del área hidráulica de CFE. Esta información se cubrió con base en un cuestionario remitido a diferentes fabricantes. Además de un contacto directo con el gerente, en algunos casos se tuvo contacto con personal del superintendente de la planta para precisar la información.

Dado que las turbinas que se manejaron han sido fabricadas por diferentes compañías occidentales se considero que la información de la CFE sí bien no cubre las turbinas en el mundo si cubre a sus fabricantes en todo el mundo occidental. La gama de marcas de turbinas compradas por la CFE prácticamente incluye casi la totalidad de los fabricantes mas importantes.

Diámetros

En lo que toca a los diámetros se obtuvo información del diámetro de salida de la turbina. La variable X3 se estimó con base en la diferencia entre la razón entre el diámetro estimado y el diámetro real y la unidad ((Diámetro estimado/ Diámetro real)-1). Al igual que las demás variables, se obtuvieron promedios por quinquenio y decenio para acoplarlos a la información del índice tecnométrico. Esto desde luego implicó que se considere la diferencia como absoluta. El diámetro estimado se baso en las formulaciones que se indican en el recuadro R-A5-1 usadas por los fabricantes de turbinas.

$$X3 = |(DE/DR)_i - 1|$$

Peso

El peso que se consideró incluye las partes más importantes de la turbina como el rodete, la carcaza, el distribuidor, alabes fijo y móviles, anillo, chumaceras. Cuando la información obtenida incluía más partes o, al contrario, las omitía, se trato de homogeneizar estos 5 componentes. Se solicitó la información a la misma gerencia de mantenimiento y se obtuvo información de turbinas de mayor de 15 Mw. Solamente en casos donde no se pudo obtener la información correspondiente al año, se estimó y se extrapoló el peso con base en turbinas de menor potencia pero reales. Toda la información provino de las turbinas que administra la CFE.

Para la estimación de la variable X4 que relaciona el peso de la turbina, la potencia y la velocidad específica se acudió a un componente peso/potencia: N_s (Kg/Kw: rpmKw/m). Este componente mide la suma de las distancias entre el origen y las coordenadas de peso/pot, N_s . Para esto se estimaron curvas de regresión del tipo $N_s = f(\text{peso / potencia})$ lineal (con coeficientes de correlación mayores a 0.75) y se estimaron los valores de las distancias a valores de Kg/Kw.

$$\sum_i^n \left(\left(\left(\frac{kg}{kw} \right)_i - \left(\frac{kg}{kw} \right)_0 \right)^2 + \left(\left(rpm \cdot \frac{kw}{m} \right)_i - \left(rpm \cdot \frac{kw}{m} \right)_0 \right)^2 \right)^{1/2}$$

El valor del componente indica que entre menor sea el componente, mejor será el desarrollo de la turbina ya que hay una reducción del peso de la turbina. Las curvas de regresión así obtenidas tienen un movimiento hacia el origen cuando hay una reducción cualitativa en el peso de los componentes de la turbina. Así se espera que cuando aumenta la N_s disminuye el parámetro Kg/Kw.

Disponibilidad

La disponibilidad de la turbina está medida como porcentaje de utilización de la turbina en un año. La información fue proporcionada también por la gerencia de mantenimiento de la CFE antes mencionada con base en turbinas de diferentes tamaños. Como esta información abarca las turbinas de mayores de 15 Mw de 1960 a 1992, para periodos anteriores se consideraron turbinas menores de 15Mw.

Margen de resguardo y efectivo

Esta información se recopiló de las estadísticas que publica la CFE y de entrevistas con personal de la CFE para determinadas turbinas en diferentes plantas. La información que se obtuvo se refiere a la potencia de placa y a la potencia efectiva de acuerdo con las capacidades de la turbina con la máxima eficiencia. Estos dos tipos de información sirvieron para estimar el margen de resguardo (X5) que es la razón entre la capacidad de placa y la estimada, y el margen efectivo (X6) que es la razón entre la capacidad real y la estimada. Cuando no fue posible estimar uno de los parámetros para los años que se precisaron se acudió también a turbinas menores a los 15 Mw.

Eficiencia

La información de eficiencia se basó en diferentes fuentes de información ya que está referida a la producción de turbinas en todo el mundo. La eficiencia que se consideró es la que se obtiene cuando se logran potencias máximas a diferentes caídas. Estas eficiencias fueron referidas a la normatividad IEM, DIN, los contratos entre productor y cliente, artículos especializados y libros sobre maquinas hidráulicas, y entrevistas con expertos de los mismos fabricantes.

Recuadro R-A-5

Costo de Mw turbina y costo de Mw proyecto

Turbinas Francis

La información que se utilizó para estimar el costo Mw turbina provino del precio de turbinas de diferentes marcas mayor a los 60 Mw. Los precios se obtuvieron de las turbinas compradas por la CFE a través de los contratos de adquisición y de entrevistas con personal tanto del área de planeación así como con los encargados de conformar los concursos para la compra de equipos y turbinas, como del área de construcción ya todos ellos compilan información sobre precios. Además colaboraron otras áreas encargadas de informática interna de la CFE en la obtención de precios de compra. Otra fuente de información fue la que se obtuvo directamente del fabricante. Para después de los setenta se obtuvo información de la CFE y para los años anteriores a los sesenta de los fabricantes. Lo anterior resultado de una estrategia natural para obtener información ya que, por un lado, a los fabricantes (a pesar de su renuencia a proporcionar información de turbinas fabricadas y vendidas desde los cuarenta) les resulto menos comprometedor que la información reciente. Por el otro la información que se puede obtener de la CFE, a pesar de que han comprado equipo desde los cincuenta, es realmente desde los setenta.

La información obtenida fue comparada y depurada con base en diferentes estudios de Onudi-Nafinsa y otros estudios de publicaciones especializadas de agencias en Estados Unidos. También se utilizaron curvas de costo de Kw que relacionan la potencia y la altura. Ver recuadro R-A5-3.

Una vez obtenido el precio de la turbina y lo que incluye este precio se hizo una depuración en el precio que no varió mas allá del 5%. La depuración consistió en homogeneizar las partes de la turbina que incluye el precio y que son las que se mencionan en el recuadro R-A5-3.

Proyecto

La estimación del costo del Mw proyecto se basó en la inversión de la infraestructura de proyectos hidroeléctricos en México y en Estados Unidos. La información provino de la CFE y de estadísticas publicadas por el Ministerio de Energía de los Estados Unidos.

La información que se obtuvo se depuró con base en considerar directamente la inversión en infraestructura relacionada con la turbina la cual incluye principalmente la cortina, vertederos, y las instalaciones necesarias para la colocación de las turbinas y naves y el conjunto de todo el equipo mecánico y eléctrico incluyendo edificios.

En segundo lugar se incluyeron los intereses durante la construcción.

Recuadro R-A5-6

Información de concentración y mercados locales e internacionales

La información que se utilizó para el análisis de mercados, concentración, y participación en mercados internacionales fue recopilada por los fabricantes como se indica en los cuadros R-A5-3 y R-A5-7. Para la concentración global (W3) se basó en el grupo de fabricantes que tuvo una mayor participación en la producción de Mw fabricados en turbinas desde 1920 a 1992. Este grupo se indica en el cuadro A5.17-1 al estimar el grado de concentración (variable W3) estimado por el índice Herfindal $HI = n^2 + 1/n$. Debido a que no se consideraron las firmas más pequeñas desde el principio las firmas más pequeñas el índice fue el más adecuado ya que desde antemano se prefirió analizar las grandes empresas. Este grupo de fabricantes tampoco incluye a los de los países ex-socialistas ni a China.

El análisis de concentración por grupo de fabricantes que da una mejor idea de la producción por región incluye a la totalidad de los fabricantes agrupados como se indica en el cuadro A5-8-1. Se trata de la variable W4.

El análisis de la participación de los fabricantes occidentales en su país y en mercados internacionales se basó en dos aspectos: por un lado se analizó el promedio de concentración (basado en el índice H) de los países donde el fabricante tuvo su origen. Es decir, se midió la concentración de la firma en su país de origen y en países destino de la producción y se estimó un promedio (variable W5, cuadro A-5-19-2). Por otro lado se estimó la tasa de crecimiento de la producción de mw fabricados en turbinas fuera de su país de origen (W6, cuadro A5-20-2). De esta manera el primero da una idea de protección de mercado, entre mayor el índice H mayor la protección, y el segundo da una idea de la conquista por mercados nuevos. Para ambos se utilizó una combinación de información entre país productor, fabricante, y destino de la producción.

Recuadro R-A5-7

Información para estimar la velocidad específica, potencia y altura

Velocidad específica

La información que se obtuvo de los fabricantes de turbinas, consumidores y estadísticas en un periodo largo como el de 1900-1992, presentó dificultades para su comparación. Sin embargo, se hicieron varios ejercicios para estimar la velocidad específica dependiendo del objetivo de los resultados: a) en uno se consideró una depuración de la información sobre todo cuidando la altura neta y la potencia, y basándose en un 50 a 60 % de la información disponible. En cada período este número no fue menor a las 40 observaciones, b) en otro se amplió la cobertura prácticamente casi la totalidad de la información pero también cuidando la altura. En ambos se prefirió analizar las turbinas fabricadas por firmas occidentales y no se incluyeron los fabricantes de los países exsocialistas ni de China.

La información que se obtuvo de diferentes fuentes, tanto primarias como secundarias, incluye información de sobre :

- Lugar de la explotación hidrológica
- Año de la producción de la turbina en el periodo 1900-1992
- Fabricante
- Altura (m)
- Fujo (m³/seg)
- Potencia (Mw)
- Numero de unidades por planta
- Velocidad (r.p.m.)
- Cliente

Para la estimación de la velocidad específica se consideraron turbinas mayores a los 15 Mw ya que resulta mas consistente la comparación tanto por el diseño del rango de la turbina como por la moda de la turbina en términos de potencia. Así mismo, esto mismo hizo que las estimaciones se basaran en el periodo de 1900-30 y en 1920-30 en adelante ya que las turbinas fabricadas a principios de siglo, son de potencia menor y de acuerdo a diferentes opiniones de especialistas una comparación mas adecuada estaría en el rango de mayor a los 15Mw.

Dado que la tasa de flujo es una variable mas difícil de obtener se, prefirió utilizar la formulación de la potencia dada por $N_s = nP^{0.5}H^{-1.25}$ donde N_s es la velocidad específica, n la velocidad (r.p.m.), P la potencia (Kw), y H la altura o caída neta (m). Véanse los apéndices los recuadros R-A5-1, R-A5-2.

Una forma de comparar las tendencias de la N_s fue estimar las ecuaciones de regresión con base en la función $N_s=f(H)$. A continuación se muestran las ecuaciones que se obtuvieron las cuales son la base de la formulación del cuadro 5-1. En todos ellos los coeficientes de correlación son aceptables. Se hicieron otras pruebas eliminando los valores extremos y aumentando la correlación. Sin embargo, se prefirió la primera por no omitir datos reales.

| Cuadro R-A5-7 | | |
|---------------|----------------------------------|----------------|
| Periodo | ecuación | r ² |
| 1900-30 | Ns= 1.000368H ^{-0.6699} | 0.89 |
| 1930-40 | Ns= 1.105H ^{-0.58} | 0.9 |
| 1940-45 | Ns= 1.069H ^{-0.51} | 0.92 |
| 1945-50 | Ns= 1.055H ^{-0.33} | 0.87 |
| 1950-55 | Ns= 1.03277H ^{-0.5267} | 0.908 |
| 1955-60 | Ns= 1.0075H ^{-0.5666} | 0.916 |
| 1960-65 | Ns= 1.032H ^{-0.59} | 0.83 |
| 1965-70 | Ns= 1.02H ^{-0.57} | 0.81 |
| 1970-75 | Ns= 0.952H ^{-0.55} | 0.87 |
| 1975-84 | Ns= 1.089H ^{-0.5508} | 0.861 |
| 1984-88 | Ns=0.997H ^{-0.557} | 0.938 |
| 1989-92 | Ns=1.074H ^{-0.5639} | 0.91 |

Fuente: Apéndices A5-42-2, R-A5-3

La comparación de las gráficas permite analizar un aumento en la Ns (gráficas D-A5-3). Sin embargo, el valor del comportamiento de la Ns está dado por el componente H-Ns descrito por la variable X1 del Recuadro R5-2 en el texto del capítulo 5. El componente H-Ns es de hecho la sumatoria de las distancias del origen a las coordenadas de H-Ns. Este componente fue ajustado para una reagrupación y se muestra en el cuadro 5-2 del texto del capítulo 5. se puede ver la estimación del componente en el cuadro A5-42-2 y A5-42-3.

Potencia media y tasa de crecimiento

La información sobre la potencia está dada en Kw y, debido a que se sabe el número de unidades por planta se puede conocer toda la potencia instalada en las plantas. Se utilizaron dos tipos de información para la construcción de los índices tecno-económico: uno para la variable X2 y otro la variable W12.

En el primero, se considera la potencia media de las turbinas. Para esto se depuro la información en : a) una selección de turbinas fabricadas por los grupos 1 a 5; b) sólo se consideró una turbina cuando había hasta seis de la misma potencia en una planta. Se consideró una segunda unidad de la misma planta solamente en los casos en que la producción difería en tiempo (mas de 3 años).

En el segundo, la información que interesa es la tasa de producción de turbinas. Para esto, se consideró la producción de Mw fabricados en términos de turbinas y no el número de turbinas. La tasa constante de crecimiento se estimó cada 5 y diez años. Estas estimaciones se hicieron con el objetivo de tener una información concordante con todas las variables

Altura

Se considera la altura media de las explotaciones de los países en los cuales han construido turbinas los fabricantes de los grupos 1 al 5, ya que lo que interesa es una medida de la explotación del recurso hidrológico y un aspecto de recursos naturales, y no tanto la turbina en sí; se consideró la altura influenciada por el flujo ya que esto toma en cuenta el número de turbinas en una explotación.

Recuadro R-A5-8

Información sobre salarios, productividad y costos

La información que se considera es para las variables X13 (número de trabajadores por máquina), W12 (productividad de la mano de obra, W13 (salarios), y W14 (costos).

En lo que se refiere a X13 se consideró el número de trabajadores que se ocupa en una máquina-herramienta promedio en la industria de bienes de capital en los Estados Unidos. El dato se tomó de un estudio de Alexander A. y Mitchell B (1985) y otro de Ehrberg y Jacobson (1993) sobre la industria de bienes de capital. El primero hace un análisis de la productividad de las máquinas herramientas en los Estados Unidos y el segundo se centra en países de la Comunidad Económica Europea.

El costo de producción (W14) se basa también en el índice de costo de la industria de bienes de capital de Estados Unidos que obtiene Alexander y Mitchel. Ambas series se complementaron con la información de la industria de Estados Unidos.

La información para la productividad y los salarios se basó en la industria de bienes de capital y la metal mecánica en Estados Unidos. La productividad se estimó con base en la producción de la rama y el número de trabajadores que participa directamente en la producción. En lo que toca a los salarios, porque no se pudieron separar sueldos y salarios para toda la serie se consideró la suma de estos como proporción del valor agregado. En ambos casos se deflactaron a precios de 1982 mediante un índice de precios de la producción para la productividad, y un índice de precios al consumidor para los salarios.

La información se obtuvo de los anuarios estadísticos de la economía de los Estados Unidos, y de los censos industriales y estadísticas de la OIT para cubrir los periodos desde 1920 hasta 1992.

Recuadro R-A5-9

Información sobre procesos

La información para medir tanto la intensidad de los procesos para la fabricación de turbinas como la participación de costo de cada proceso en el total del costo directo se estimó con base en encuestas al fabricante como se indica en la hoja siguiente. También se utilizó información indirecta a través de estudios de Onudi sobre bienes de capital y en específico sobre la viabilidad de instalar fábricas de bienes de capital en países en desarrollo. En general, la encuesta sirvió para la información de los años sesenta en adelante, y los estudios, artículos y revistas especializadas para los años cuarenta y cincuenta donde resultó muy difícil conseguir la información por parte del productor. La información que se obtuvo por parte de fabricante se refirió a turbinas no menores a los 60 Mw y en su mayoría vendidas a la CFE.

Como se observa en el cuestionario a pesar de que se solicitó un desglose de la información por procesos, el fabricante no siempre pudo dar respuesta ya que incluso en algunos casos de años recientes sobre los cuales se pudo haber contado con la información, esta, además de tener un costo alto implicaba a la vez un secreto de la firma frente a la competencia. En otros casos se pudo entrevistar a los gerentes de producción y obtener una respuesta consistente respecto al porcentaje en el tiempo y costo de cada subproceso. Sin embargo a pesar de que la información que proporcionaron directamente los gerentes es consistente y completa no fue posible incorporarla a la serie ya que la misma desagregación no se completo para todos los periodos analizados y solamente se reflejó en los procesos con un nivel de agregación mayor como lo señalan las variables X9, X10, X11, X12 para la intensidad en los procesos y las variables W8, W9, W10, W11 para la participación de los costos en el total del costo directo.

Preguntas (1) y (2)

| Process | Time ¹ (2815 Hrs) | | Direct Cost ⁴ |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | home workshop ² % | out factory ³ % | % |
| 1. Design | | | |
| 2. Forming | | | |
| 1. Casting/melting | | | |
| 2. Forging | | | |
| 3. boiler making/welding | | | |
| 4. Cutting | | | |
| 5. Pressed | | | |
| 3. Milling | | | |
| 1. turning | | | |
| 2. boring | | | |
| 3. rolling | | | |
| 4. plane/brush | | | |
| 5. tangent swing | | | |
| 6. rectification | | | |
| 7. other | | | |
| 4. Finishing | | | |
| 5. Transporting | | | |
| 6. Installing | | | |
| 7. Testing | | | |

Total

Notes.

The components of the turbine to be considered are the runner, labyrinth, shaft, guide bearings, thrust bearing, staying, spiral case, head cover and bottom ring , draft tube, discharge ring.

1. Time in hrs or another units for the process from 1 to 7.
2. Made in the factory or in the group holding
3. Contracted with another company out the group.
4. As a proportion of the direct cost .

Observaciones:

- Fabricantes de soldaduras;
- Higgins (1970);
- Ayres (1985);
- Cojinet ;,
- Hanley (1980)

Recuadro R-A5-10

Informacion sobre Materiales

Las fuentes de información para los aceros fueron diversas. Por un lado se obtuvieron mediante entrevistas a fabricantes y expertos en aceros. También se acudió a consultores de bombas por tener una gran similitud. Por otro lado indirectamente se consultaron los contratos de adquisición y las especificaciones de los aceros y otros materiales para la fabricación de las turbinas, los manuales y publicaciones anuales sobre diferentes tipos de acero, y referencias y libros especializados en materiales.

Existe una dificultad en catalogar a los aceros ya que hay una enorme diversidad en lo que cada fabricante produce dentro de un rango de características y además la turbina hidraulica está construida con diferentes materiales desde los aceros estructurales los cuales aparentemente no han cambiado, los inoxidables, los aceros especiales contra la abrasión, la maquinabilidad y soldabilidad y el costo. Además de las características de los materiales mismos los que ocupa la turbina se sumó otra complejidad mayor ya que se requirió adaptarlos a una serie histórica para hacerla compatible con las demás variables analizadas.

Por un lado el módulo de proporcionalidad ayuda a clasificar a los aceros y de hecho se le utilizó para obtener un índice que incluyera una especie de media entre acero estructural, y el inoxidable. Este módulo se ilustra en la pagina siguiente y no sólo sirve para catalogar a los materiales sino a los aceros mismos. La propiedades de los aceros de hecho son las mismas sin embargo lo que se trató de incorporar en un parámetro es la evolución de las diferentes proporciones de otros materiales como el cromo, níquel, moligdeno, para darle otras propiedades al acero, y mantener cierta tolerancia a la resistencia y a la fatiga. Mientras que los aceros del siglo pasado se basaron en encontrar fundiciones con diferentes proporciones de carbono y métodos de fundición para lograr mayores resistencias, en el siglo XX se puso el énfasis en perseverar con otros metales y lograr los misma resistencia a diferentes esfuerzos y mayor ligereza (Hanley, 1980). Los aceros de principios de siglo usados en las turbinas y los usados hoy han cambiado porque en ellos se han incorporado propiedades para hacerlos más dúctiles, más fácil de trabajar y de soldar. Así, mientras que las turbinas de principio de siglo se construían con aceros estructurales y su composición se basaba principalmente en la cantidad de carbono¹, hoy además de estos elementos, se incorporaron otros para obtener un mayor grado de resistencia y que al mismo tiempo fueran más ligeros. Son dos modificaciones importantes que hay que considerar: por una parte los aceros estructurales de acuerdo con el módulo de proporcionalidad han variado poco² y las tecnologías de fundición en cambio si han cambiado. En segundo, la incorporación de otros elementos y minerales para obtener nuevas aleaciones, como antes se mencionó, han sido y seguirán siendo la característica del desarrollo de los aceros y nuevos materiales pero guardando por lo regular ciertos niveles mínimos a la resistencia.

Las propiedades que se analizaron fueron : el módulo de proporcionalidad, la dureza, la maquinabilidad, la soldabilidad, los aceros rápidos, los aceros inoxidables, y el costo de producción de los aceros. Sin embargo dada la dificultad en encontrar la información y acoplarse a la serie histórica desde los veinte (ya que algunos materiales todavía no existían) se analizaron solamente para objetivos de la serie el módulo de proporcionalidad y el precio del acero estructural.

A pesar de que los precios del acero inoxidable son mayores que los estructurales existe una franca tendencia a la baja que fácilmente se observa desde los cuarenta. Por esta razón se decidió analizar solamente un índice del precio del acero en Estados Unidos

Las fuentes analizadas son:

- Fabricantes de turbinas en México;
- Fabricantes de acero en México;
- Manuales de materiales y aceros;
- Consultores especializados en aceros en Mexico;

¹ Se consideran tres grupos de acuerdo al contenido de carbón: de 0 a 0.015%, de 0.01-2% y de 2-5%.

² No así si se considera un periodo mas amplio. En 1779 el hierro fundido alcanzaba una resistencia máxima de 10,000 lb/pulg² (Ayres, 1985), mientras que durante los sesenta y setenta alcanzaba entre 26 y 31000000 lb/pulg² (Sopeña e Irabien, 1972)

- Fabricantes de soldaduras;
- Higgins (1970);
- Ayres (1985);
- Cojinet .;
- Hanley (1980)

(3) Materiales Usados correspondientes a las turbinas del cuestionario de procesos.

| | Bruto (%) | Neto (%) |
|------------------------------|--------------|-------------|
| 1. Aceros estructurales | | |
| ----- | | |
| ----- | | |
| ----- | | |
| 2. Aceros inoxidable | | |
| 3. Aceros para fundición | | |
| 4. Aceros para forja | | |
| 5. Otros aceros | | |
| 6. Aceros para corte | | |
| 7. Soldaduras | | |
| 8. Materiales para terminado | | |
| 9. Otros | | |

Nota. Bruto se refiere a la cantidad inicial de acero que se compra, Neto al material que queda en la turbina una vez trabajada y terminada.

Observaciones. Indicar el material usado para la parte de la turbina correspondiente. Ej. Acero inoxidable para el rodete.

Recuadro R-A5-11

Información para el Rp

La información para la construcción del árbol industrial primario se basó en una comparación con los procesos y equipos utilizados en la industria metal-mecánica. En especial se utilizó la desagregación hecha por un estudio de PEMEX-SECOFI sobre el catalogo de los fabricantes de la rama metal mecánica en México.

Esta información es la base de los cuadros del apéndice A5-1 y A5-2

Recuadro R-A5-12

Información para la estimación de los índice tecno-económicos

La construcción de los índices Y_e , Y_p , y Y_m se basó en la adecuación de la serie para cada decenio y quinquenio lo cual dependió de la información mínima para su comparación. Como se pudo observar a lo largo de los cuadros R-A5-3 al 11, la información que se pudo obtener varía en frecuencia y para poderla comparar se optó por una serie que reflejara la información desde 1920-30 hasta 1986-92 como se aprecia abajo:

1920-30
1930-40
1941-50
1951-55
1956-60
1961-64
1965-69
1970-74
1975-85
1986-92

La información contenida en cada periodo es representativa de los años analizados ya que dependiendo del tipo de variable analizada se estimó un promedio. La información para estimar los promedios es la información de prácticamente todos los cuadros del apéndice (A5) del capítulo 5. A partir de la información se normalizaron las variables y se obtuvo una serie de variables normalizadas para de allí hacer el análisis de índice tecnométrico. Se estima un índice holístico y no un índice total. El primero mide la profundidad de los cambios tecnológicos y el segundo el avance. Por esta razón la información se normalizo. El primero mide el valor del cambio tecnoeconómico mediante el valor absoluto del índice pero este análisis no se hizo por no estar dentro de los objetivos de la investigación. El segundo que fue el que se aplico evalúa la importancia relativa de cada variable para determinar la tecnológica dominante.

La forma de analizar los periodos antes mencionados con las variables obtenidas necesariamente conllevó hacerlo por partes ya que solamente el número de observaciones es de 11 y el número de variables es de 16 para el equipo, 12 para procesos, y 6 para materiales. Este ejercicio conllevó múltiples ejercicios de correlación que no se hubieran hecho sin la ayuda del software. Si bien no se hicieron todas las combinaciones posibles porque se estimó innecesario y porque no se quiso invertir tiempo en un programa que resolviera todas las opciones posibles, si llevó a cabo más de 150 correlaciones que se analizaron en cascada. estas incluyen los análisis del componente H-Ns y X_4 . Los resultados más importantes se comentan en el capítulo 5.

Nota metodologica

1. El análisis del índice Y se basa principalmente en los trabajos de Sahal y Esposito. Del primero se retoma el concepto de función tecnométrica y del segundo se hace un análisis del producto mediante la incorporación de variables económicas y de desarrollo del producto.

Las funciones que se estimaron parten de la combinación de variables técnicas, económicas y culturales agrupados por procesos, equipos y materiales. Debido a que no fue posible contar con el mismo número de observaciones para cada una de las variables dado que en algunos casos se obtuvo el universo de información, en otros se baso en lo registrado en países donde se explota los recursos hidráulicos, y en otro se baso en los países que producen equipos de turbinas. Esta diferencia en el número de observaciones hizo que se tuviera que ajustar el análisis de series a las variables que mas importaban para el modelo y que corresponden a las interrogantes que el mismo sector presupone para la medición de los cambios tecnológicos. De esta manera no solo importo una discriminación de los fabricantes

correlacionados con un mismo objetivo sino también importó la lógica para la combinación de variables para ser correlacionadas.

La forma de relacionar las variables partió de un criterio técnico, de un criterio económica y de una mezcla entre ambos. Al mismo tiempo se procedió a analizar primero las variables de los equipos y posteriormente las de los procesos y materiales juntos. Se puede sintetizar de la siguiente manera.

Primera : Técnica Económica Mezcla
Equipos

Segunda : Procesos y materiales

En cada uno de los agrupamientos y de las relaciones entre las variables presupone cierta coherencia de los resultados. Esta coherencia proviene del conocimiento de los fenómenos técnico y económicos. En este sentido la apreciación de que los agrupamientos de las variables obedecieron a cierto sentido económico y técnico es correcta.

La relación entre las variables tomó la forma lineal y para el análisis de regresión se estimaron valores para Y con base a un crecimiento de la productividad en el sector metal mecánico y la productividad de la industria en Estados Unidos. En lugar de una serie de valores para equipo, procesos y materiales se estimó un promedio. Se hicieron varias pruebas y los valores que mejor se ajustaron se normalizaron. Estos son :

| periodo | valor inicial de Y |
|---------|--------------------|
| 1920-30 | 0.54347 |
| 1930-40 | 0.56532 |
| 1941-50 | 0.59782 |
| 1951-55 | 0.63043 |
| 1956-60 | 0.68478 |
| 1961-64 | 0.76086 |
| 1965-69 | 0.86956 |
| 1970-74 | 0.92391 |
| 1975-85 | 0.96739 |
| 1986-92 | 1 |

2. Las pruebas que se hicieron estuvieron en función del tipo de información obtenida, la frecuencia de la información y la disponibilidad de los estimadores y los programas para las diferentes pruebas. Se utilizó una base de datos en excel y se aplicaron los programas estadísticos del mismo excel y del TSP

a) Las pruebas F y t se hicieron para la mayoría de las estimaciones.

b) Multicolinealidad. En un análisis de regresión múltiple el grado de interrelación de las variables puede tener repercusiones para mayores análisis pero también puede interpretarse como un problema menor. Dado que el análisis que se hizo más que para predecir escenarios se enfocó a explicar relaciones de variables donde el problema de multicolinealidad no puede verse tan grave ya que si bien la multicolinealidad está presente es necesario saber el grado y/o cierto nivel de aceptación. Este problema se analizó solo en algunos casos donde se observó cierta multicolinealidad mediante la comparación de regresiones con agrupación de 3 o 4 variables y observándose y comparando : i) si la correlación entre dos regresores es alta o baja, ii) comparaciones entre el coeficiente de correlación y los coeficientes parciales de correlación.

c) El análisis de la información repercutió en los análisis y pruebas para verificar un error no especificado. De hecho la correlación serial se basó en :

- i) separación de la información técnica de la económica
- ii) análisis de error estándar

d) La prueba más común para identificar problemas de mala especificación se derivan de un análisis posterior de:

- i) omisión de variables relevantes e inclusión de irrelevantes
- ii) modelo matemático utilizado.

En el primer caso dado que la muestra era muy pequeña para aplicar la prueba de DW en algunos casos se planteó la de Von Neuman, que está referida para muestras pequeñas.

Al mismo tiempo la omisión de variables relevantes fue hasta cierto punto descartada ya que si bien la información contó con un número bajo de observaciones no falló en el número de variables. De hecho los coeficientes de correlación obtenidos dan cuenta de que a primera vista este problema no fue relevante. Sin embargo la inclusión de variables irrelevantes en todo caso tendría un mayor efecto.

En el segundo caso a pesar de que se observó cierta incompatibilidad del modelo en algunos grupos de datos que deberían estar contenidos por otro tipo de asociación que no fuera lineal, esta se omitió por las siguientes razones. Primero, el número reducido de observaciones fue vital ya que la inclusión de más variables reduciría los grados de libertad mínimos para garantizar un resultado que menos impactara en el análisis. En segundo, a pesar de que se consideró otro tipo de modelo este no se llevó a cabo ya que rebazaba el alcance de la investigación ya que implicaba formulaciones econométricas más complejas. Esto significó no considerar un modelo basado en la formulación elipsoidal de Sahal como fue el caso anterior sino en un aprovechamiento funcional del tipo de Dodson.

e) Prácticamente se descartó un problema de heterocedasticidad por las siguientes razones. Primero como se mencionó en la descripción de la información y las variables solo se analizaron las turbinas mayores de 15Mw esto dio como resultado cierta homogeneidad en el objetivo de las empresas. Segundo solo se analizaron las firmas occidentales a pesar de obtener información de empresas de todo el mundo. Esto no significó que esta última información no sirviera solo que a nivel de datos estadísticos para el análisis de regresión no entraron. Tercer, la información que se introdujo tuvo el mismo o parecido objetivo. es decir producción de turbinas o partes de turbinas... Cuarto se introdujo información sin variar las unidades. Solo en el caso de los equipos se hicieron combinaciones de variables económicas y técnicas.

$$1 \quad y = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$$

$$y = 1.1 - 0.11x_1 - 0.31x_2 + 0.33x_3 + 0.85x_4$$

(2.9) (0.8) (-2.1)

$$R^2 \text{ Ajustado} = 0.76$$

$$Et = 0.08$$

$$F = 8.2$$

$$2 \quad y = f(x_2, x_3, x_4)$$

$$y = 0.97 + 0.32x_2 - 0.33x_3 - 0.82x_4$$

(6.3) (3.8) (2.1) (-3.1)

$$r^2 = 0.802$$

$$Et = 0.077$$

$$F = 13.2$$

$$3 \quad y = f(x_2, x_3)$$

$$y = 0.53 + 0.41x_2 - 0.02x_3$$

(5.5) (3.4) ()

$$r^2 = 0.55$$

$$Et = 0.011$$

$$F = 6.5$$

$$4 \quad y = f(x_3, x_4)$$

$$y = 1.34 - 0.39x_3 - 1.16x_4$$

(6.4) (1.4) (-2.7)

$$r^2 = 0.4$$

$$Et = 0.132$$

$$F = 4.2$$

$$5 \quad y = f(x_2, x_4)$$

$$y = 0.81 - 0.34x_2 - 0.4x_4$$

(-1.8)

$$r^2 = 0.69$$

$$Et = 0.095$$

$$F = 11.4$$

$$6 \quad y = f(x_5, x_6)$$

$$y = 0.39 - 0.83x_5 - 0.07x_6 - 0.43x_6$$

(2.4)

$$r^2 = 0.31$$

$$7 \quad Et = 0.144$$

$$y = f(x_5, x_6)$$

$$y = 0.32 - 0.01x_5 - 0.51x_6$$

$$r^2 = -0.2$$

$$Et = 0.19$$

$$8 \quad y = f(x_5, x_4, x_5, x_6)$$

$$y = 0.91 + 0.82x_3 - 1.1x_4 + 1x_5 - 0.63x_6$$

(2.3) (4.3) (-4.4) (4.6) (-1.8 vs -1.5)

$$r^2 = 0.91$$

$$Et = 0.067$$

9 $y = f(x_4, x_5)$

$$y = 0.45 - 0.35x_4 + 0.61x_5$$

(-1.03 < 1.16)

$$r^2 = 0.44$$

$$Et = 0.16$$

$$F = 4.5$$

10 $y = f(x_3, x_4, x_5)$

$$y = 0.35 - 0.6x_3 + 0.92x_4 + 0.9x_5$$

(1.2) (3.5) (-3.4) (3.6)

$$r^2 = 0.78$$

$$Et = 0.079$$

$$F = 12.2$$

11 $y = f(x_3, x_4, x_5, x_7)$

$$y = -1.25 + 0.65x_3 - 1.14x_4 + 0.85x_5 + 1.82x_7$$

(3.8) (-3.5) (3.3)

$$r^2 = 0.799$$

$$Et = 0.077$$

$$F = 9.9$$

12 $x_8 = f(x_3, x_4, x_5, x_7)$

$$y = 0.57 + 0.13x_3 - 0.23x_4 + 0.12x_5 + 0.38x_7$$

(2.1) (-4.1) (-4 vs. 0.39) (2.7) (1.3 vs. 1.1)

$$r^2 = 0.795$$

$$Et = 0.014$$

$$F = 9.7$$

13 $y = f(w_1, w_2, w_3, w_4)$

$$y = 0.85 - 0.06w_1 - 0.31w_2 + 0.47w_3 - 0.2w_4$$

(6.8) (-0.7) (-5.1) (6.5) (-1.2)

$$r^2 = 0.94$$

$$Et = 0.041$$

$$F = 38.77$$

14 $y = f(w_1, w_2, w_3, w_4)$

$$y = -0.84 + 0.34w_1 - 0.0003w_4 + 0.5w_5 + 1.1w_6$$

(3.1) (1.8) (5.4)

$$r^2 = 0.94$$

$$Et = 0.039$$

$$F = 42.8$$

15 $y = f(w_1, c_1)$

$$y = 0.28 - 0.2w_1 + 0.77c_1$$

(5.7) (1.1) (-2.1) (2.4)

$$r^2 = 0.51$$

$$Et = 0.12$$

$$F = 5.79$$

16 $y = f(w_6, w_7, c_1, w_2, w_3)$
 $y = 0.22 + 0.45w_6 - 0.1w_7 + 0.005c_1 - 0.08w_2 + 0.34w_3$
(62.4) (1.2) (2.2) (-2.9) (1.18) (3.7)
 $r^2 = 0.97$
 $Et = 0.029$ $F = 62.4$

$y = f(w_2, w_3, w_6, w_7)$
 $y = 0.23 - 0.08w_2 - 0.34w_3 + 0.45w_6 - 0.1w_7$
(97.4) (1.6) (-1.3) (5.1) (2.5) (-3.3)
 $r^2 = 0.97$
 $Et = 0.026$
 $F = 97.4$

17 $y = f(w_7, w_6)$
 $y = 0.24 + 0.18w_3 + 1.02w_6$
(1.4) (1.4) (3.9)
 $r^2 = 0.89$
 $Et = 0.55$
 $F = 40.8$

18 $y = f(w_2, w_7)$
 $y = 1.02 - 0.51w_2 - 0.009w_7$
(4.8) (10.5) (0.24)
 $r^2 = 0.46$
 $Et = 0.127$
 $F = 4.8$

19 bis $y = f(x_1, x_2, w_2, w_6)$
 $y = -0.4 + 0.24x_1 + 0.33x_2 - 0.16w_2 + 1.03w_6$
(104.3) (-3.4) (5.6) (3.4) (-3.1) (9.7)
 $r^2 = 0.97$
 $Et = 0.025$
 $F = 104.3$

9 $y = f(x_4, w_2, w_6)$
 $y = -0.59 - 0.55x_4 + 0.33w_4 + 1.38w_6$
(83.5) (-3.5) (4.1) (-4.1) (10.0)
 $r^2 = 0.96$
 $Et = 0.032$
 $F = 83.5$

20 $y = f(x_4, w_2, w_3, w_6)$
 $y = -0.68 - 0.61x_4 - 0.34w_2 - 0.03w_3 + 1.48w_6$
(52.4) (1.96) (-3.5) (2.8 < 2.84)
 $r^2 = 0.95$
 $Et = 0.035$
 $F = 52.4$

21 $y = f(x_1, x_2, w_3, w_6)$
 $y = -0.7 - 0.22x_1 + 0.4x_2 - 0.019w_3 + 1.22w_6$
(35) (-3.1) (2.4) (2.2) (5)
 $r^2 = 0.96$
 $Et = 0.043$
 $F = 35$

22 $y = f(x_4, w_2)$

$$y = 1.02 + 0.002x_4 - 0.52w_2$$

(4.8) (-1.7)

$$r^2 = 0.46$$

$$Et = 0.127$$

$$F = 4.8$$

23 $y = f(x_{14}, x_{19})$

$$y = 0.5 + 0.24x_{14} + 0.28x_{19}$$

(131) (17.1) (3.5) (4.3)

$$r^2 = 0.96$$

$$Et = 0.31$$

$$F = 131$$

24 $y = f(x_4, x_9, x_{19})$

$$y = 0.3 + 0.12x_4 + 0.43x_9 + 0.24x_{19}$$

(112) (3.1) (1.3) (4.2) (4.06)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.031$$

$$F = 112$$

25 $y = f(x_4, x_{11}, x_{12}, x_{19})$

$$y = 1.4 + 0.07x_4 - 0.83x_{11} - 0.29x_{12} + 0.51x_{19}$$

(8.3) (1.03) (-4.8) (-1.4) (3.8)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.025$$

$$F = 103$$

26 $y = f(x_9, x_{11}, x_{12}, x_{19})$

$$y = 2.07 - 0.25x_9 - 1.32x_{11} - 0.33x_{12} + 0.59x_{19}$$

(-1.55) (3.1)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.027$$

$$F = 91.042$$

27 $y = f(x_{11}, x_{12}, x_{14}, x_{19})$

$$y = 1.1 - 0.52x_{11} - 0.31x_{12} + 0.1x_{14} + 0.48x_{19}$$

(3.9) (-1.9) (-1.5) (1.06) (3.6)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.025$$

$$F = 104$$

28 $y = f(x_9, x_{12}, x_{14}, x_{19})$

$$y = 0.53 + 0.22x_9 - 0.28x_{12} + 0.12x_{14} + 0.48x_{19}$$

(6.3) (1.5) (-1.3) (1.26) (2.8)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.027$$

$$F = 86.6$$

29 $y = f(x_4, x_{10}, x_{14}, x_{19})$

$$y = 0.26 + 0.028x_4 - 0.21x_{10} + 0.26x_{14} + 0.36x_{19}$$

(2.99) (1.21)

$$r^2 = 0.95$$

$$Et = 0.036$$

$$F = 49.3$$

$$30 \quad y = f(x_4, x_9, x_{10}, x_{19})$$
$$y = -0.14 + 0.1x_4 + 0.46x_9 + 0.45x_{10} + 0.42x_{19}$$

(1.1) (4.2) (1.7)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.029$$

$$F = 78.6$$

$$31 \quad y = f(x_4, x_{10}, x_{11}, x_{15})$$
$$y = 0.97 + 0.069x_4 + 0.34x_{10} - 0.84x_{11} - 0.46x_{15}$$

(0.75) (-4) (1.8)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.029$$

$$F = 75.8$$

$$32 \quad y = f(x_9, x_{10}, x_{14}, x_{19})$$
$$y = -0.16 - 0.27x_9 - 0.59x_{10} - 0.11x_{14} + 0.47x_{19}$$

(1.7) (1.08) (2.03)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.029$$

$$F = 7.8$$

$$33 \quad y = f(x_4, x_9, x_{12})$$
$$y = 0.15 - 0.14x_4 - 0.52x_9 + 0.28x_{12}$$

(1.2) (1.17) (3.7) (2.3)

$$r^2 = 0.94$$

$$Et = 0.039$$

$$F = 56.4$$

$$34 \quad y = f(x_4, x_9, x_{11})$$
$$y = 1.89 - 0.21x_4 + 1.4x_9 - 1.7x_{11}$$

(1.17) (4.7)

$$r^2 = 0.94$$

$$Et = 0.039$$

$$F = 56.4$$

$$35 \quad y = f(x_4, x_{10}, x_{12})$$
$$y = 3.2 - 0.03x_4 - 2.4x_{10} - 0.8x_{12}$$

$$36 \quad y = f(x_4, x_{10}, x_{11})$$
$$y = 2.0 - 0.11x_4 - 0.77x_{10} - 0.3x_{11}$$

(10) (1.09) (-5.3) (-3.1)

$$r^2 = 0.95$$

$$Et = 0.035$$

$$F = 69.8$$

$$37 \quad y = f(x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12})$$
$$y = 11.4 - 2.3x_9 + 4.8x_{10} - 1.8x_{11} - 1.84x_{12}$$

$$38 \quad y = f(x_4, x_{11}, x_{12})$$

$$y = 1.22 + 0.08x_4 - 0.91x_{11} - 0.43x_{12}$$

(4.1) (0.6) (-2.8) (3.7)

$$r^2 = 0.92$$

$$Et = 0.046$$

$$F = 39.4$$

39 $y = f(x_9, x_{11}, x_{12})$

$$y = -0.4 + 0.74x_4 + 0.62x_{11} + 0.23x_{12}$$

(1.27)

40 $y = f(x_4, x_9, x_{10})$

$$y = 0.84 + 0.14x_4 - 0.44x_9 - 0.56x_{10}$$

(3.2) (1.4) (3.4) (-3.08)

$$r^2 = 0.96$$

$$Et = 0.03$$

$$F = 77$$

41 $y = f(x_4, x_{10}, x_{13})$

$$y = 1.5 + 0.34x_4 - 1.14x_{10} - 0.23x_{13}$$

(14) (1.4) (-8.2) (-1.8)

$$r^2 = 0.92$$

$$Et = 0.046$$

$$F = 40.07$$

42 $y = f(x_9, x_{10}, x_{13})$

$$y = 0.9 + 0.42x_9 - 0.5x_{10} + 0.04x_{13}$$

(2.9) (2.4) (-2.2) (0.5)

$$r^2 = 0.95$$

$$Et = 0.038$$

$$F = 60.69$$

43 $y = f(x_4, x_{11}, x_{13})$

$$y = 2.2 - 0.11x_4 - 1.74x_{11} + 0.11x_{13}$$

(6.9) (-4.1)

$$r^2 = 0.76$$

$$Et = 0.084$$

$$F = 10.83$$

44 $y = f(x_9, x_{11}, x_{13})$

$$y = 1.6 + 1.4x_9 + 1.6x_{11} + 0.11x_{13}$$

(6.9) (-4.1)

$$r^2 = 0.94$$

$$Et = 0.039$$

$$F = 56.7$$

45 $y = f(w_8, w_9, w_{10}, w_{11})$

$$y = 10.2 - 0.43w_8 - 5.5w_9 - 3.9w_{10} - 1.03w_{11}$$

(-3.1) (-9.0) (-9.7) (-5.7)

$$r^2 = 0.97$$

$$Et = 0.027$$

$$F = 90.1$$

46 $y = f(w_{13}, w_{14}, w_{15})$

$$y = 0.28w_{13} - 0.42w_{14} - 0.4w_{15}$$

$$y = 28 + 0.42w_{13} - 0.44w_{14} - 0.4w_{15}$$

(7.07) (4.5) (7) (4.5) (13) (-3.2)

$$r^2 = 0.99$$

$$Et = 0.01$$

$$F = 514$$

$$47 \quad y = f(w_{12}, w_{13}, w_{14})$$

$$y = 0.39 - 0.02w_{12} - 0.13w_{13} - 0.4w_{14}$$

(14.5) (0.7) (3.1) (7.8)

$$r^2 = 0.98$$

$$Et = 0.002$$

$$F = 201.3$$

$$48 \quad y = f(w_8, w_{13}, w_{14}, w_{15})$$

$$y = 0.34 - 0.09w_8 + 3.7w_{13} - 0.42w_{14} - 0.27w_{15}$$

(-3.8) (0.77) (3.2) (9.7) (1.2)

$$r^2 = 0.99$$

$$Et = 0.0137$$

$$F = 360.4$$

$$49 \quad y = f(w_{10}, w_{11}, w_{13}, w_{14}, w_{15})$$

$$y = 0.25 - 0.04w_{10} - 0.7w_{11} - 0.7w_{13} - 0.44w_{14} - 0.74w_{15}$$

(2.4) (-1.2) (2.8) (1.2) (-2.4)

$$r^2 = 0.99$$

$$Et = 0.013$$

$$F = 298$$

$$50 \quad y = f(w_8, w_{11}, w_{13}, w_{14})$$

$$y = 0.43 - 0.18w_8 - 0.02w_{11} - 0.2w_{13} + 0.39w_{14}$$

(11.3) (-1.9) (0.69) (3.4) (10.4)

$$r^2 = 0.99$$

$$Et = 0.015$$

$$F = 296.3$$

$$51 \quad y = f(w_8, w_{11}, w_{13}, w_{14})$$

$$y = 0.58 - 0.17w_8 - 0.0005w_{11} - 0.09w_{13} + 0.42w_{14}$$

(1.6) (1.9) (8.8)

$$r^2 = 0.98$$

$$Et = 0.019$$

$$F = 177$$

$$52 \quad y = f(w_8, w_{10}, w_{13}, w_{14})$$

$$y = 0.33 - 0.05w_8 - 0.14w_{10} - 0.1w_{13} + 0.43w_{14}$$

(1.9) (7.4)

$$r^2 = 0.98$$

$$Et = 0.01$$

$$F = 180.9$$

$$53 \quad y = f(w_8, w_9)$$

$$y = 0.58 - 0.79w_8 - 0.36w_9$$

$$r^2 = 0.69$$

$$Et = 0.104$$

$$F = 9.001$$

54 $y = f(w_{10}, w_{12}, w_{14})$
 $y = 0.79 - 0.37w_{10} - 0.049w_{12} - 0.58w_{14}$
 (0.5) (2.5) (1.3) (16.2)
 $r^2 = 0.98$
 $F = 155$

55 $y = f(w_8, w_{10}, w_{12}, w_{14}, w_{15})$
 $y = 0.33 - 0.23w_8 - 0.24w_{10} + 0.002w_{12} - 0.4w_{14} - 0.28w_{15}$
 (1.2) (1.6) (3.9) (1.3)
 $r^2 = 0.99$
 $F = 160$

56 $x_1 = f(w_8, w_{10}, w_{12}, w_{14}, w_{15})$
 $x_1 = 0.99 - 0.4w_8 - 0.33w_{10} + 0.13w_{12} - 0.019w_{14} - 0.53w_{15}$
 $r^2 = 0.74$
 $F = 6.26 > 2.3$

57 $y = f(w_2, w_3, w_{10}, w_{14})$
 $y = 0.39 - 0.24w_2 + 0.36w_3 + 0.29w_{10} + 0.06w_{14}$
 $r^2 = 0.97$
 $F = 41.9$
 $Et = 0.039$

58 $y = f(w_2, w_3, w_8, w_{10}, w_{12}, w_{14})$
 $y = 0.04 - 0.06w_2 + 0.12w_3 + 0.21w_8 + 0.32w_{10} + 0.088w_{12} + 0.38w_{14}$
 $r^2 = 0.99$
 $F = 74$

59 $y = f(w_{10}, w_{12}, w_{14})$
 $y = 0.7 - 0.37w_{10} - 0.049w_{12} - 0.58w_{14}$
 $r^2 = 0.98$
 $Et = 0.02$
 $F = 155$

60 $y = f(w_8, w_{10}, w_{12}, w_{14}, w_{15})$
 $y = 0.33 - 0.23w_8 - 0.33w_{10} + 0.24w_{12} + 0.002w_{14} + 0.28w_{15}$
 (1.2) (1.9) (3.9) (1.3)
 $r^2 = 0.98$
 $Et = 0.018$
 $F = 160$

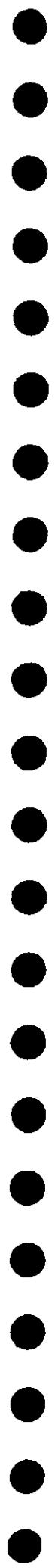
61 $y = f(w_2, w_3, w_8, w_{10})$
 $y = 0.39 - 0.242w_2 - 0.36w_3 + 0.29w_8 + 0.06w_{10}$
 (1.7) (-3.4) (5.6) (2.5)
 $r^2 = 0.97$
 $Et = 0.039$
 $F = 41.9$
 $F. Crit = 0.00048$

52 $y = f(w_2, w_3, w_8, w_{10}, w_{12}, w_{14})$
 $y = 0.04 - 0.065w_2 + 0.12w_3 + 0.21w_8 + 0.32w_{10} + 0.088w_{12} + 0.38w_{14}$
(1.5)

63 $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$
 $y = 1.1 - 0.11x_1 + 0.31x_2 + 0.33x_3 - 0.85x_4$
(8.2) (2.9) (0.8) (-2.1)
 $r^2 = 0.76$
 $E_t = 0.08$



Bibliografía



Referencias y Bibliografía

- Abernathy, W.J. y Clark, K.B. (1985), "Innovation: mapping the winds of creative destruction", en *Research Policy*, Vol 14, Num 1.
- Abernathy, W.J. y Utterback J.M., (1978), "Patterns of Industrial Innovation" en *Technology Review*, 80 (7).
- Abramovitz M (1986), "Catching up, forging ahead, and falling behind", *Journal of Economic History*, 46, junio, 385-406. Reimpreso en *A Macroeconomics Reader* de B Snowdon y H Vane, Routledge.
- Afuah, A. y Utterback, J. (1991), "The Emergence of a New Supercomputer Architecture" en *Technological Forecasting and Social Change*, 40, 315-328.
- Alchian, A. (1950), "Uncertainty, evolution and economic theory", en *Journal of Political Economy*, 58, 211-21. Reimpreso en *Industrial Organization* (ed) O Williamson, 1990, EE.
- Alchian A. (1953), "Biological analogies in the theory of the firm: comment", en *American Economic Review*, 43: .
- Alchian A. y Demsetz H. (1972), "Production information costs and economic organization", en *American Economic Review*, 62: 777-95.
- Alexander, A. y Mitchel B. (1985), "Measuring Technological Change of Heterogeneous Products", en *Technological Forecasting and Social Change*, 27, 161-195.
- Allegre, J. y Roche, N. (1989) "Conception et realisation des grands alternateurs", en *Revue de l'energie*, No. 410.
- Allen, P. (1994), "Evolutionary Complex Systems: Models of Technology Change", en Leydersdorff L. y Besselaar P (ed), *Evolutionary Economics and Chaos Theory*, Pinter Publishers, Londres.
- Archibugi, D. (1988), "In Search of a Useful Measure of Technological Forecasting", en *Technological Forecasting and Social Change*, 34.
- Aroche F. (1995), "Evolucion de la Estructura Productiva Mexicana. Un ejercicio de trinangularizacion de la matriz de insumo-producto", *El Trimestre Economico*, Vol LXII(3), No.247.
- Arrow K. (1950), "A Difficulty in the Concept of Social Welfare", en *Journal of Political Economy*, 58.
- Arrow, K. (1951), *Social Choice and Individual Values*, J Wiley.
- Arrow, K. y Hahn F. (1977) *Análisis General Competitivo*, FCE, México.
- Asimov, I. (1972), *Asimov's New Guide to Science*, Penguin Books, Gran Bretaña.
- Asthon, T.S. (1951), *Iron and Steel in the Industrial revolution*, Manchester University Press.
- Arthur W.B. (1988a), "Competing technologies: an overview", en Dosi G *et al* (1988)
- Arthur W.B. (1988b), "Self-Reinforcing Mechanism in Economics", en *The Economy as Evolving Complex System*, (ed) por Anderson P. Arrow K. Pines D. , Addison Wesley Publishing Co. EUA
- Audretsch, D. (1995), *Innovation and Industry Evolution*, MIT, Massachusetts
- Ayres R. (1983). "A Schumpeterian Model of Technological Substitution", en *Technological Forecasting of Social Change*, 27.
- Ayres R. (1985), "Empirical Measurement of Technological Change at Sectoral Level", en *Technological Forecasting and Social Change*, 27, 229-247.
- Bailey E. y Friedlaender A., (1982) "Market Structure and Multiproduct Industries", *Journal of Economic Literature*, Vol XX sept, 1024-1048.
- Banco de México, Estadísticas Económicas por Sector de Actividad, Varios años
- Bank, E, (1983), *Resources and Energy*, Lexington Books.
- Barro R. J. y Sala-i-Martin X., (1995), *Economic Growth*, MacGraw-Hill. EUA.
- Barthe, W., (1987), *Fundamentos de Turbinas de Gas*, Limusa.
- Bartlett, C. (1981), "Multinational Structural Change: Evolution versus Reorganization", en Otterbeck L (ed), *The management of Headquarters Subsidiary Relationships in Multinational Corporation*, Gower, Londres
- Basalla, G. (1988), *The Evolution of Technology*, CUP, Cambridge.

- Basberg B. (1987), "Patents and Measurement of Technology Change: A Survey of the Literature", *Research Policy* 16.
- Bathie, W. (1987), *Fundamentos de turbinas de gas*, Limusa, México.
- Baumol W (1982), "Contestable Markets: An Uprising in the Theory of Industry Structure", *American Economic Review*, March 1, 1-15. Reimpreso en *Industrial Organization* (de) Anindya Sen, 1996. Oxford India Papers, Oxford.
- Baumol W (1990), "Entrepreneurship: Productive Unproductive and Destructive", *Journal of Political Economy*. Vol 98, 893-921.
- Becker, G. (1962), "Irrational Behaviour and Economic Theory", en *Journal of Political Economy*, 70:1-13.
- Bergeron M. (1963), "Machines hydrauliques: effet d'échelle, cavitation". *La Houille Blanche*, Julio.
- Bliega, T., Boidart T., Garrouste P. y Massard, N. (1987), "Le déploiement du dispositif d'observation", en *Analyse de Systemes*, vol XIII, No. 3, sept 1987.
- Blitzer, et al , (1973), *Economic-Wide Models and Developing Planning*, O.U.P.
- Bovari, Catálogos de turbinas.
- Boyer (1988), en *Technical Change and Economic Theory*, (ed) Dosi G et al Londres, F Pinter.
- Bralay, R y Gasnier, S. (1982) "Fabrication mecano-soudée de composants de turbines Francis de grandes dimensions", en *Revue technique*, No. 1, Francia.
- Brunner, H. (1994), "Technological Diversity, Random Selection in a Population of Firms and Technological Institution of Government", en Leydersdorff, L. y Besselaar, P (ed) , *Evolutionary Economics and Chaos Theory*, Pinter Publishers, Londres.
- Buclet, P. y Casson, M. (1979), "A Theory of International Operations", reimpreso en Buckley P. y Ghauri P (ed) *The Internationalization of the Firm*, (1993), Academic Press, Londres.
- Burn, A. (1939), *The Economic History of Steel Making 1857-1939*, CUP.
- C.F.E. (1993), *Potencial Hidroeléctrico Nacional*, Gerencia Técnica de Proyectos Hidroeléctricos, México.
- C.F.E. (1982), "Anteproyecto Definitivo Coainala, Chis", (Comec)
- C.F.E., (1989), Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico., CFE, México
- C.F.E. (varios años), *Indíces para ajustes de precios*, Subdirección de Programación, CFE., México
- C.F.E., "Centrales Eléctricas, Subestaciones y Líneas de Transmisión".
- C.F.E., "Estadísticas del Sector Energético Nacional"
- C.F.E., "Informe de Operaciones"
- C.F.E., "Proyecto Eléctrico la Angostura". (A. Ulloa G.)
- C.F.E., (1989), *Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico*, México.
- Campbell, D. (1987) "Blind Variation and Selective Retention" en Radnitzky G y Bartley W. (ed) *Evolutionary Epistemology. Theory of Rationality and Sociology of Knowledge*, Open Court.
- CANACERO, (1984), *Diagnóstico y Perspectiva de la Industria Siderúrgica Mexicana*, México.
- Cárdenas M. "Ingeniería de Sistemas", Limusa.
- Casacci, S., Bosc J., Moulin, C. y Sauron A., (1977), "Conception et construction des turbomachines hydrauliques de grandes dimensions", en *La Houille Blanche*, No 7/8.
- Casagrande, J. , Couston, M., y Diana, J. (1991), "Operating experience of the Tucuruí Francis turbines", en *Water Power & Dam Construction*, Febrero.
- Casar J. (1993), "La Competitividad de la Industria Manufacturera 1980-90", en *El Trimestre Economico* Vol. LX (1), No. 237.
- Casar, J. y ROS J.,(1981), "Problemas Estructurales de la Industrialización en México", CECADE, 1981.
- Cazadero, M. (1988), "Energía y Tercera Revolución Industrial", Tesis Doctoral, DEFFE. UNAM.
- Cazadero M. (1991), "Las Nuevas Fuentes y Tecnologías Energéticas", en Corona L *México ante las Nuevas Tecnologías*, CIIH, UNAM y M.A. Porrúa, México.
- Clark, K.B.,(1985), "The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution", *Research Policy*, Vol 14, Num 5.
- Clarke R. y McGuinness T. (eds) *The Economics of the Firm* , Oxford, Blackwell.

- Clavijo F. y Casar J. (1994), "Las restricciones al crecimiento de la economía mexicana y la necesidad de una política industrial para el fomento de la competitividad", en *La industria mexicana en el mercado mundial*, (comp) F.Clavijo y J.Casar, FCE, México.
- Coase, R. (1937), "The Nature of the Firm", *Economica*, 4, 386-405.
- Coase, R. (1960), "The Problem of Social Cost", en *Journal of Law and Economics*, 3(1), 1-44.
- Coase R (1991), "The nature of the Firm: Origen, Meaning, Influence", en *The Nature of the Firm*, de E Williamson y S Winter. Reimpreso 1993. OUP.
- Cohen, W (1995), "Empirical Studies of Innovation Activity", en Stoneman P. (ed), (1995), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell, Oxford
- Cohen W y Levin R. (1989), "Empirical studies of innovation and market structure", en R Schmalensee y R Willig (de) *Handbook of Industrial Organization*, Amsterdam, NH.
- COPLAMAR, (1982), "Necesidades Esenciales en México" (Libro azul), COPLAMAR, México.
- Coriat, B. (1976), *Ciencia, Técnica y Capital*, H. Blume, Madrid.
- Corona L. (1984), "Fuerzas Productivas, Ciclo Económico y Crisis", en López P., "La Crisis del Capitalismo, Teoría y Práctica", Siglo XXI, México.
- Corona L. (1991), "La Revolución Científico -Técnica en el Contexto Mundial" en Corona L. "México ante las Nuevas Tecnologías. CIIH, UNAM, y M.A.Porrúa, México.
- CRB Commodity Year Book .
- Crafts N., (1996), "Post-Neoclassical Endogenous Growth Theory: What are its Policy Implications?" *Oxford Review of Economic Policy*, Vol 12, No. 2.
- Cyert, R. y March, J. (1963), *A Behavioral Theory of the Firm*, Prentice Hall.
- Chamberlain, E. (1951), "Monopolistic Competition Re-examined", en *Economica*
- Chamberlain E. (1933), *Monopolistic Competition*.
- Chenery H. et al (1974), *Redistribution with Growth*. OUP, Oxford.
- Dasgupta y Stiglitz (1980), "Industry Structure and the Nature of Innovative Activity" *Economic Journal*, 90, 266-93. Reimpreso en Anindya Sen (1996)
- De la Garza E. (1988), *La Reconversión Industrial en México*, UAN-A.
- De la Torre, C. (1964), *Materiales y Aleaciones para Elevadas Temperaturas*, editorial Montecorvo, Madrid.
- De la Vega, A. (1979), "Nota crítica sobre algunos temas relacionados con la teoría del crecimiento", Cuadernos de la DEP, Fac. de Economía, UNAM.
- De Parres, J. (1966), *Máquinas Hidráulicas*, México,
- Delbeke, J.(1983), "Recent Long Wave Theories. A Critical Survey", en C. Freeman (1983).
- Demsetz H (1991) "The Theory of the Firm Revisited", en *The Theory of the Firm* (ed) O Williamson y S Winter, OUP, Reimpreso 1993.
- Demsetz H (1988), "The Theory of the Firm revisited" en *Ownership, Control and the Firm: the Organization of Economic Activity*, Vol I, Oxford, Blackwell.
- Desai, A. V. (1985), "Market structure and technology : their interdependence in Indian industry", *Research Policy*, Vol 14, Num 3.
- Dietrich, M. (1994), *Transaction Costs Economics and Beyond*, Routledge, Londres.
- Dodson E.N., (1970), "A General Approach to the Measurement of the State of Art and Technological Advance", en *Technological Forecasting and Social Change*.
- Dodson. E. (1985), "Measurement of State of the Art and Technological Advance", en *Technological Forecasting and Social Change*, 27.
- Dore R. (1984), "Technological Self-reliance: Sturdy Ideal or Self-serving Rhetoric", en M Fransman y K King (1984).
- Dosi G.,(1982), "Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change", *Research Policy*, 11.
- Dosi, G. (1984), *Technical Change and Industrial Transformation*, MacMillan.
- Dosi G. (1988), "The Nature of the Innovation Process", en Dosi G et al.
- Dosi, G. et al (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publisher, Londres.
- Dror I. (1993), "The Process of Technology Evolution", *Technological Forecasting and Social Change*, 44, 49-58.
- Dumbleton E. (1988), "Upgrading hydro turbines: an operating authority's experience", en *Water Power & Dam Construction*, Octubre.

- Dussel P.E. (1995), "El cambio estructural del sector manufacturero mexicano 1988-94", *Comercio Exterior*, Vol 45, No. 6.
- Dutrenit G. y Capdeville M. (1993), "El perfil tecnologico de la industria mexicana y su dinamica innovadora en la decada de los ochenta", en el *Trimestre economico* Vol LX (3), N 239.
- Ehrnberg E. y Jacobsson S. (1993), "Technological Discontinuity and Competitive Strategy- Revival Through FMS for the European Machine Tool Industry?", en *Technological Forecasting and Social Change*, 44, 27-48.
- Elster J. (1984), *Explaining Technical Change*, C.U.P.
- Energy Technology Handbook.
- Eremeeff L., Larroze, P., Lathuile C., Philibert R., (1983), "Calculus hydrodynamiques dans les turbomachines", en *Revue technique Neyrpic*, No. 2.
- Esposito E. (1993), "Technological Measurement: a composite approach", en *Technological Forecasting and Social Change*, 47, 1-17.
- Fajnzylber, F. (1986), "Reflexiones sobre las especificidades de la industrialización en America Latina", en Perez A.L., (1986).
- Fajnzylber, F. (1983), "La Industrialización Trunca en América Latina", ed. Nueva Imagen, México.
- Fama E. (1980), "Agency Problems and the Theory of the Firm", *Journal of Political Economy*, Vol 88, N 2.
- Ferguson, E. (1964), "The Origins of Steam Engine", en *The Rise of Scientific Technology*.
- Fourie F. (1993) In the Begining There Were Markets?, en Fitelis Ch. (ed) *Transaction Costs, Markets and Hierachies*, Blackwell, Reimpreso 1994.
- Foray D. (1989), "Les modeles de competition technologique. Une revue de la literature", *Revue Déconomie Industrielle*, N 48, 2 trimestre 16-34.
- Foray, D. y Garrouste, P. (1987), "Le dispositif d'observation: analyse morphologique et arborescence technologique" en *Analyse de Systemes*, vol XIII, No. 3, sept 1987.
- Foray D. y Massard N. (1987), "Conceptualisation de l'industrie et des mouvements d'industrialisation: les choix théoriques", en *Analyse de Systemes*, vol XIII, No. 3, sept 1987.
- Forum, varios numeros, 2,3,4,5,6. 1988, Voith.
- Fransman, M (1984), "Technological Capability in the Third World: an Overview and Introduction to some of the Issues Raised in this Book", en Fransman M (1984).
- Fransman, M y King K. (1984), (Ed), "Technological Capability in the Third World", MacMillan.
- Freeman, C. (1974), *The Economics of Industrial Innovation*, F. Pinter, Londres.
- Freeman, C. (ed) (1984), *Long Waves in the World Economy*.. F. Pinter. Londres.
- Freeman, C., Clark, J. y Soete, L. (1982), *Unemployment and Technical Innovation*, F. Pinter, Londres.
- Freeman C. y Perez C. (1988), "Structural Crisis of Adjustment: Business Cycles and Investment behaviour", en *Technical Change and Economic Theory* (ed) Dosi G. et al, Pinter Publishers. London.
- Friedaman, M. (1953), "The Methodology of Positive Economics", en *Essays in Positive Economics*, Chicago University Press, Chicago.
- Furio B.L. (1996), "En laces, Estimulos y Plasticidad. Un recorrido por la obra de Albert O. Hirschman", en *El Trimestre Economico* Vol. LXIII (4), 252
- Galenson, W. y Leibenstein, A. (1955), "Investment Criteria Productivity and Economic Development" en *Quarterly Journal of Economics*, Vol. LXD: (agosto).
- GEC Alsthoon Neyrpic (1988), Turbinas-bombas, Neyrpic.
- GEC Alsthoon Neyrpic (1990), Turbinas Francis.
- General Electric (1992), *36 th GE Turbine State of Art Technology Seminar*.
- Gereffi G. (1989), "Development Strategies and the Global Factory" en *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, Philadelphia, Vol 505, Sept.
- Gereffi G. y Wyman D. (1989), "Determinants of Development Strategies in Latin America and East Asia" en *Pacific Dynamics: The International Politics of Industrial Change*, Westview Press Inc. Boulder.
- Gereffi G. (1992), "New Realites of Industrial Development in East asia and Latin America: Global, Regional and National Trends", en *States and Development in the Asian Pacific Rim* (ed) R.P.Appelbaum y J Henderson, Sage Publications, Ca.

- Gereffi G. (1995), "State Policies and Industrial Upgrading in East Asia", en *Reveu D'Economie Industrielle*, No especial, No.71. Paris.
- Geroski, P. (1995), "Markets for Technology : Knowledge, Innovation and Appropriability", en Stoneman P. (ed), (1995), *Handbook of the Economics of Innovation and Tecnological Change*, Blackwell, Oxford.
- Gerosky ,P. (1992), "Vertical relations between firms and industrial policy" , *Economic Journal*, 102, 138-47.
- Gibbons, M (1985), *The Changing Role of the Academic Reseach Systems*, Longman, Londres.
- Gibbons M. y Gummet P (ed), (1984), *Science Technology and Society Today*,. Manchester University Press.
- Giral J. y Gonzalez S. (1980), *Tecnologia Apropiada*, ed.. Alambra, Mexico.
- Gode, E. , Cuenod, R., (1992) , *Numerical Simulation of Flow in a Hydraulic Turbine*, Sulzer escher Wyss.
- Gomulka, S. (1990), *The Theory of Technological Change and Economic Growth*, Routledge, Londres
- Goonatilake, S. (1988), "Inventions in Developing Countries" en *Impact on Science and Society*.
- Goonatilake, S.(1984), *Aborted Discovery*, Zed Books, Londres.
- Gordon T. y Minson T. (1981), A Proposed Convention for Measuring the State os Products or Processes, en *Technology Forecasting and Social Change*, 20,1-26.
- Griffin K. (1976), *La Planeacion del Desarrollo*, FCE. Mexico
- Griliches, Z (1979), "Issues in assesing the contribution of R&D to productivity growth", *The Bell Journal of Economic*, 10(1), 92-116.
- Griliches, Z (1990), "Patent statistics as economic indicators: a survey" , *Journal of Economic Literature*, 28, 1661-1707.
- Griliches, Z. (1995), "R&D and productivity : Econometric Results and Measurement Issues", en Stoneman P , (ed)
- Grossman, G. y Helpman, E. (1992), *Innovation and Growth*, MIT, Massachusetts.
- Gujarati D.N. (1995), *Basic Econometrics*, 3 edicion, McGraw-Hill.
- Habicht, F. ,(1983), *Las Maquinas Herramientas Modernas*, CECSA
- Haguenuer, L. et al, (1984), "Os complexos industriais na economia brasileira", Univesidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia Industrial, mimeo.
- Hall, y Hitch (1939), "Price theory and business behaviour", en *Oxford Economic Papers* 2. Reimpreso, in *Studies in the Price Mechanism* (ed) Twilson & P.W. Andrews, OUP., Oxford. 1951.
- Hanley, D. (1980),*Introduction to the Selection of Engineering Material*, Van Ustrand Reinhold.
- Harder, E.,(1982), *Fundamentals of Energy Production*, J Wiley S.
- Hebden, J. (1983), *Application of Econometrics*, Philip Allan, Oxford.
- Heertje A. (1960), "Market Classification System in Theory", en *Southern Economic Journal*
- Hernández L.E. (1985), *La productividad y el desarrollo industrial en México*, FCE.
- Hernandez L.E. y Velasco A.E. (1990), "Productividad y competitividad de las manufacturas mexicanas 1960-1985", en *Comercio Exterior* 40 (7).
- Higgins, R. (1978), *Ingenieria Metalúrgica* (tomo 2), ed. Continental, México.
- Hirschman A. (1973), *La Estrategia del Desarrollo Economico*, FCE, Mexico.
- Historical Statistics , Colonial Times to 1970. EUA.
- Historical Statistics of the United States , Selected Commodities, Steal Rails (1880-1970), Gas & Electricity (1931-1970).
- Historical Statistics of the United States, . Indice Mayoreo, BLS, Pearson.
- Historical Statistics of the United States: Two centuries of census, 1790-1990, Compiled by Donald B. Dodd, Greenwood Press, 1993.
- Hodgson G. (1994), "Transaction Cost and the Evolution of the Firm", en *Transaction Costs, Markets and Hierarchies*, (ed) C. Pitelis, Blackell, Oxford.
- Holmstrom B (1982a), "Managerial Incentive Problems - A Dynamic Perspective", en *Essay in Economics and Management in Honor of Lars Wahlbeck*, (de) B. Wahlroos, Helsinki, Swedish school of Economics.

- Holmstrom B (1989b). "Moral Hazard in Teams", *Bell Journal of Economics*, 13 (2) atono, 324-40.
Reimpreso en *Industrial Organization* (ed) O Williamson, 1990, EE.
- Holmstrom b (1989), "Agency Cost and Innovation", *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 12, 305-327.
- Holmstrom B y Tirole J (1989), "The Theory of the Firm", en *Handbook of Industrial Organization*, Vol I, (ed) R Schmalensse y R Willig, Elsevier.
- Holler, H. *et al* (1990), *Utilization of Water Power by Means of Hydraulic Machines*, Escher Wyss.
- Hunt, D. (1979), *Diccionario de Energía*, Marcombo, Barcelona.
- Hydroelectric Plant Costs-1978" (1979), 20th Ann, Suppl. Washington, D.C. Supt of Documents. Industrial Outlook EUA. varios anos.
- INEGI, *La Industria Sidergica en México México*.
- INEGI, Censos de Poblacion.México.
- INEGI, Censos Industriales, varios anos., México.
- INEGI, *La Industria Química en México*, México.
- Islas J (1996), "Getting round the lock-in in electricity generating systems: the example of the gas turbines". Por publicarse. en *Research Policy*
- Jardón, U. J. (1991), "Nuevas Fuentes y Tecnologías en el Sector Energético en México", en Corona L. *México ante las Nuevas Tecnologías*, CIIH, UNAM y M.A. Forriá, México.
- Jardón U.J., (1986), *El sector atrasado y las posibilidades de crecimiento algunas consideraciones teóricas para la discusión*, CEE.
- Jardón, U.J., (1980), *Main Trends in the Growth of Income in the Manufacturing Industry, 1965-75*", CECADE.
- Jefferys J. (1945), *The Story of the Engineers 1800-1945*, Lawrence: & Wishart Ltd. Gran Bretana.
- Johanson, J y Wiedersheim P.(1975), "The Internationalization of the Firm- Four Swedish Cases", *Journal of Management Studies*, Octubre .
- Joskow p (1985), "Vertical Integration and long-term Contracts: The Case of Coal-burning Electric Generating Plantas", *Journal of Law and Economic Organization*, 1 (1), 53-80, reimpreso en *Industrial Economics* (ed) O Williamson, 1990, EE.
- Joskow P (1991), "Asset Specificity and the Structure of Vertical Relationships: Empirical Evidence" en *The Nature of the Firm* (eds) O Williamson y S winter, reimpreso 1993, OUP.
- Jorgenson D. (1989), "Capital as a Factor of Production", en Jorgenson, D. y Landau, *Technology and Capital Formation*, MIT, Massachusetts.
- Kaldor, N (1935), "Market Imperfection and Excess Capacity",
- Kamien, I y Schwartz, N. (1982), *Market Structure and Innovation*. Cambridge Survey in Economic Literature, CUP.
- Kaplinsky, R. (1984), "Trade in Technology-Who, What, Where and When ?", en Fransman M. (1984).
- Karshenas, M. y Stoneman P. (1995), "Technological Diffusion", en Stoneman P. (ed), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell, Oxford.
- Kazanas, Baker, Gregor, *Basic Manufacturing Process*, MacGraw-Hill.
- Kealey T. (1996), *The Economic Laws of Scientific Research*, Macmillan, Londres.
- Kendrick J.M.,(1977), *Understanding Productivity*, John Hopkins University Press.
- Knight F (1921), *Risk, Uncertainty and Profit*, NY, Hart Schaffner. reproducido 1965, NY.
- Kondratiev, (1935), "The Long Waves in Economic Life", *Review of economics Statistics*, 17
- Korzeniewicz, R.P.(1995), "Una visión alternativa: cadenas mercantiles globales", en *Investigación Económica*, Num 214, oct-dic. UNAM.
- Kousoyiannis, (1975), *Modern Microeconomics*, Macmillan, Londres.
- Kousoyiannis (1982), *Non Price Decision*, Saint Martin Press, Nueva York.
- Krugman P (1988), "La Nueva Teoría del Comercio Internacional y los Países menos Desarrollados", *El Trimestre Económico*, Vol LV (1), N 217.
- Krugman P. R. (1990), Is Free Trade Passé?, *Journal of Economic Perspectives*, Vol
- Kuhn, S., (1984), *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, Breviarios, F.C.E., México.
- La Technique de L'équipement des Chutes", *La Houille Blanche*
- Lall S. (1984), *Indian's Technological Capability : Effects of Trade, Industrial Science and Technology Policies*, en Fransman, M. (1984)

- Leibenstein H. (1989), "Allocative efficiency and X-efficiency". reproducido parcialmente en Putterman L. (ed) *The Economic Nature of the Firm*, CUP, Cambridge.
- Lenz, R. (1985), "A Heuristic Approach to Technology Measurement", *Technological Forecasting and Social Change*, 27, 249-264.
- Leontief, W. (1947) "Introduction to a theory of the internal structure of functional relationships", *Econometrica*, 15, 361-73.
- Leontief, W. (1977) *Essays in Economics*, Transaction Books, EUA.
- Levin, A.K., Klevorich R., Nelson R., Winter S., (1987), "Appropriating the returns from industrial R&D", en *Brookings Papers on Economic Activity*, 783-820.
- Lewis, A. (1955) *The Theory of Economic Growth*, Allen & Unwin, Londres.
- Leys, C. (1984), "Relations of Production and Technology" en Fransman M.
- Lipschitz E. y Zottele, A. (ed), (1985), "Eslabonamientos productivos y mercados oligopólicos", UAM, Azcapotzalco.
- Little, I.M.D. y Mirrlees, J.A., (1977), *Project Appraisal and Planning for Developing Countries*, Heinemann educational Books.
- Loria E. (1995), "Las fuentes del crecimiento de la manufactura mexicana", *Comercio Exterior*, Vol 45, No. 5.
- Lucas R.E. (1988), "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, vol 22, pags. 3-42.
- Lugaresi, A. y Massa, A. (1988), Kaplan turbines: design trends in the last decade, en *Water Power & Dam Construction*, Mayo.
- Lundvall B (1990), *From Technology as a Productive Factor to Innovation as an Interactive Process*, Ponencia presentado en International Inter-disciplinary Workshop on Network of Innovators, Montreal.
- Mackenzie, D. (1992), "Economic and sociological explanation of technical change" en Coombs, R., Saviotti P. y Walsh V. (ed), *Technological Change and Company Strategies*, Academic Press, Londres.
- Machlup, F. (1946), "Marginal Analysis and Empirical Research", en *American Economic Review*, 512-554..
- Maddala, G. y Miller E. (1991), *Micro Economía*, McGraw Hill, México.
- Maddala, G. (1977), *Econometrics*, Mcgraw-Hill Kogakusha LTD Tokio.
- Magar, R., (1986), "Metodología para la planeación en la producción e investigación de materiales y partes estratégicas", en Perez L.M. (et al), 1986.
- Malerba E (1992), "Learning by Firms and Incremental Technical Change" *The Economic Journal*, 102. 845-59.
- Malerba, F. (1985), "Demand Structure and Technological Change : the case of the European semiconductor industry", en *Research Policy*, Vol.14, Num 5.
- Mandel, E. (1983), "Explaining Long Waves of Capitalism Development", en Freeman, C.
- Mankiw G (1992), "The reincarnation of keynesian economics", *European Economic Review*, 36, abril, 559-65. Reimpreso en *A Macroeconomics Reader* (de) B Snowdon y H Vane, Routledge.
- Marsahll, A. (1920), *Principles of Economics*, MacMillan. London. Reimpreso 1946.
- Martin, S. (1993), *Advanced Industrial Economics*, Blackwell, Oxford.
- Martino, J. (1985), "Measurements of Technology Using Trade Off Surfaces", en *Technological Forecasting and Social Change* 27
- Marx, K., "Capital y Tecnología" (manuscritos inéditos), Terra Nova
- Mataix, C. (1982), *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*, Harla, México
- Matuar J. (1994), "La Competitividad de la Industria Química", en *La Industria Mexicana en el Mercado Mundial*, (comp) f. Clavijo y J. Casar, FCE, Mexico.
- Megnint L., Neyrpic et les machines hydrauliques. *La Houille Blanche*.
- Mensch G. et al, (1983), "Changing Capital Values and the Propensity to Innovate", en C. Freeman, 1983.
- Metcalf, S. Boden, M (1992), "Evolutionary epistemology and the nature of technology strategy" en Coombs, R., Saviotti, P. y Walsh V. (ed), *Technological Change and Company Strategies*, Academic Press, Londres.
- Microsoft (1994), *Excel 5. Function Reference*, Microsoft.

- Mill, J.S., *Principles of Political Economy*, Kelley, N.Y.
- Moreno J.C. (1994) "La Competitividad de la Industria Atomotriz" en F. Clavijo y J. Casar. (comp)
- Moschanceas, M (1994), *Business Economics*, Routledge, Londres.
- Moulton, F. y Schiffers J. (1986), *Autobiografía de la Ciencia*, FCE, México.
- Mowery D. y Rosenberg N., (1979), "The Influence of Market Demand upon Innovation : A Critical Review of Some Recent Empirical Studies", *Research Policy*.
- Mowery y Rosenberg N., (1991), *Technology and the Pursuit of Economic Growth*, CUP, Cambridge.
- Naciones Unidas, (1962), Reporte.
- Nafinsa (1968), Aspects of Turbine Manufacture, mimeo Nafinsa.
- Nafinsa (1977), *México: Una Estrategia para Desarrollar la Industria de Bienes de Capital*, México
- Nafinsa (1979), *La Demanda de Bienes de Capital para las Industrias del Papel y la Celulosa en México.*, México.
- Nafinsa (1979), *La Demanda de Bienes de Capital para las Industrias Petrolera y Petroquímica Básica en México.*, México.
- Nafinsa (1979), *La Oferta Nacional de Bienes de Capital*, México.
- Nafinsa (1982), *La Demanda de Bienes de Capital para la Minería en México*, México.
- Nafinsa (1984), *México: Las Pailerías en 1984*, México.
- Nafinsa (1986), *Los Precios de Cuenta en México*, México
- Nafinsa (1987), *Comercio Internacional de Bienes de Capital*, México
- Nafinsa (1988), *El Papel de las Turbinas Térmicas en el Desarrollo del Sector Energético Mexicano.*, México.
- Nafinsa-Onudi, (1977,1985), *Los Bienes de Capital. La Situación Económica Presente*. México.
- Napoleoni, C. (1968), *El Pensamiento Económico en el Siglo XX*, Oikos, Barcelona.
- Nasar, S. y Boldea I. (1993), *Máquinas Eléctricas*, ed. Continental S.A., México.
- Nawaz, S. y Anwar, U. (1975), "A Procedure for Adapting Technological Forecasting Models", *Technological Forecasting and Social Change*, 7, 99-106.
- Nelson, R. (1981), "Research on Productivity Growth and Productivity Differences : dead ends and new departures". en *Journal of Economic Literature*, Num 19.
- Nelson R. (1994), "Economic Growth via the Coevolution of Technology and Institutions", en Leydersdorff L. y Besselaar P (ed) *Evolutionary Economics and Chaos Theory*, Pinter Publishers, Londres.
- Nelson R. y Winter S., (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Mass.
- Nelson R. y Winter S., (1977), "In Search of Useful Theory of Innovation", en *Research Policy*, N.6
- Neyrpic Asthon, (1989), Turbinas Hydrauliques: referencias. Neyrpic
- Neyrpic GEC- Alstom, Turbinas Francis. panfleto, Neyrpic.
- O'Hara, S. (1995), "From Production to Sustainability: Considering the Whole Household" en *Journal of Consumer Policy*, Vol 18, num 2-3, junio.
- OIT, Anuario estadístico, varios años.
- OECD, (1996), *Technology and Industrial Performance*, Paris.
- Ozawa O. (1995), "The Dynamic Industrial Policy and Flexible Production: Toward a Technostructural-Evolutionary Paradigm o the Miti's Role", en *Revue D'Economie Industrielle*, No.75, Paris.
- Pach H. (1993), "Productivity and Industrial Development in Sub-Saharan Africa", en *World Development* Vol 21, No.1
- Pasinetti L., (1983), *Structural Change and Economic Growth : a theoretical essay on the dynamics of the wealth of nations*, CUP. Cambridge.
- Patel, P. y Pavitt, K., (1995), "Patterns of Technological Activity: their Measurement and Interpretation", en Stoneman P., *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackell, Oxford.
- Pavit, K., (1984), "Sectoral patterns of technical change : toward's a taxonomy and theory ", en *Research Policy*, Vol 13, Num 6.
- Pavit K. Robson M. Townsend (1989), "Technological accumulation diversification and organization in the UK companies 1945-1983" *Management Science* 35.
- Penrose E (1959), *The Theory of the Growth of the Firm*, Oxford, Blackwell.

- Pemex, "Memoria de Labores", 1987.
- Perez C. (1992), "Cambio Tecnico, Reestructuración Competitiva y Reforma Institucional en los Países en Desarrollo", en el *Trimestre Económico*, Vol LIX No.233
- Perez C. (1996), "La modernización industrial en América Latina y la herencia de la sustitución de importaciones", en *Comercio Exterior*, Vol 46, No.5.
- Pérez M. et al (compiladores), (1986). *Articulación Tecnológica y Productiva*, CIT, UNAM.
- Pitelis C (1993) "On Transaction (Cost) and markets and (as) Hierarchies" en *Transaction Costs, Markets and Hierarchies*, (ed) C Pitelis, Blackwells. reimpreso en 1994.
- Pollack, H. *Maquinas Herramientas y manejo de materiales*, PH.
- Putterman, (ed) (1986), *Economic Nature of the Firm: A reader*, CUP, Cambridge.
- Puyo, A. (1963), "Progrés réalisés par les turbines hydrauliques au cours des dernières années" en *La Houille Blanche*, Febrero.
- Quintero, R.,(1989), "Biotecnología", en Corona (1989).
- Rabee, J. (1989), *Hydraulischen Maschinen und Anlagen*, VDI-Verlag GmbH, Dusseldorf.
- Rabee, J. (1984), *Hidro Power*, VDI-Verlag GmbH, Dusseldorf.
- Rangel, C. (1987), *Los Materiales de la Civilización*, SEP, FCE, Conacyt, México.
- Ranis, G. (1984), "Determinants and Consequences of Indigeneous Technological Activity", en M. Fransman, 1984.
- Resnick R. y Halliday D. (1977), *Física*, Editorial Continental, México.
- Richards, S. (1985), *Philosophy & Sociology of Science*. Blackwell, Oxford.
- Robinson, J (1933), *The Economics of Imperfect Competition*, FCE, México.
- Robinson, J. y Eatwell, J. (1973), *Introducción a la Economía Moderna*, FCE, México.
- Robson, M. Townsend J, Pavitt K., (1988) "Sectoral patterns of production and use of innovations in the U.K.: 1945:1983", *Research Policy*, 17. 1-14.
- Rogers, G.F.C., (1983), *The Nature of Engineering*, Macmillan.
- Romer P. (1994), "The Origins of Endogenous Growth", en *Economic Perspectives* Vol.18, No.1,3-22.
- Romer P. (1991), "El Cambio Tecnológico Endógeno" en *El Trimestre Económico* Vol. LVIII (3), No.231.
- Romer P: (1990), "Endogenous Technological Change". *Journal of Political Economy*, October, 985:2, 1002-37.
- Romer P (1986), "Increasing Returns and Long Run Growth". *Journal of Political Economy*, Vol 94, N 5
- Rosenberg, N.(1979), *Tecnología y Economía*, ed.G. Gili. España.
- Rosenberg, N.,(1979), "Economía de Cambio Técnico", F.C.E., México.
- Rosenberg, N. (1983), *Inside The Black Box : Technology and Economics*, CUP, Cambridge.
- Rothwell, R y Zegveld, Z., (1982), *Industrialization and Public Policy*, F. Pinter Ltd. Londres.
- Rothwell R., (1985), *Reindustrialization and Technolog*, Longman, Londres.
- Ruiz D.C. (1992), "Las empresas micro, pequeñas y medianas: crecimiento con innovación tecnológica", *Comercio Exterior* Vol 42, No. 2.
- Ruiz D.C.(1996), "La hipótesis de distribución de las ganancias y el crecimiento acelerado en el Pacífico Asiático" *Comercio Exterior* Vol 46, No.12.
- Russell, G.(1925) *Hydraulics*, H Holt and Company, Nueva York.
- S.P.P."Sistema de Cuentas Nacionales en México"
- Sahal D. (1985a), "Technological guidepost and innovation avenues", in *Research Policy*, Vol. 14, Num. 2.
- Sahal, D, (1985b), "Foundations of Technometric", *Technological Forecasting and Social Change*, N.27.
- Sahal, D. (1975), "A Generalized Logistic Model for Technological Forecasting", *Technological Forecasting and Social Change*, 7, 81-97.
- Sahal, D. (1975), "A Reformulation of the Technological Progress Function" en *Technological Forecasting and Social Change*, 8, 75-90.
- Sahal, D. (1976) "A Spectral Analytic Study of some Postulates Concerning Engineering Design and Related Process" en *Technological Forecasting and Social Change*, 8, 285-308.

- Sahal, D. (1976), "On the Conception and Measurement of Technology : A case Study of the Aircraft Design Process" en *Technological Forecasting and Social Change*, 8, 371-384, 385-399.
- Salter, W. (1960), *Productivity and Technical Change*, CUP.
- Saviotte, P. y Metcalfe, J.S.(1986), "A theoretical approach to the construction of technological output indicators", en *Research Policy* 13.
- Saviotte, P., (1984), "Technological Change", en M. Gibbons (1984).
- Sawyer M (1993), "The nature and Role of the Market", en *Transactions Costs, Market and Hierarchies*, (ed) C Pitelis, Blackwell Oxford. Reimpreso 1994.
- Scranton, P. (1991), "Diversity in Diversity: Flexible Production and American Industrialization 1880-1930" en *Business History Review*, Vol 65, No. 1.
- Scherer, F.,(1982), "Inter-industry technology flows in the United States", en *Research Policy*, Num 11.
- Scherer, F. (1980), *Industrial Market Structure and Economic Performance*, Chicago.
- Schmookler J. A.(1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press.
- Schumpeter J. A.(1939), *Business Cycles*, N.Y.
- Schumpeter, J.A. (1968), *Ensayos*, Oikos. Barcelona.
- Schumpeter J.A. (1974), *Capitalismo, Socialismo*, Oikos.Barcelona.
- Schumpeter, (1978), "Teoría del Desarrollo Económico", F.C.E.
- SECOFI, PEMEX, "Catálogo de Fabricantes de la Rama Metal Mecánica", Tomos I,II
- SEMIP (1994), *Documento de Prospectiva del Sector Eléctrico*, México.
- SEMIP, *Consumo de Energía en la Industria*. México
- Sen Anindya (1996) (editor) *Industrial Organization*, Oxford India Papers, OUP.
- Sen, A. (1969), *Selección de Técnica*, FCE, México
- Sen A (1979), *Sobre la Desigualdad Económica*, de Critica, Barcelona.Sen A. (1992), *Inequality Reexamined*, Harvard University Press.
- SEPAFIN (1975), *La Estructura de la Oferta y Demanda en México*, México
- Shaw G.K., (1992) "Policy implications of Endogenous growth Theory", *Economic Journal*, 102, May, pp 611-21. Reimpreso en *A Macroeconomics Reader*, De B Snowdon y H Vane, Routledge.
- Siervo, (de) F. y Leva, (de) F. (1976), "Modern trends in selecting and designing Francis turbines", en *Water Power & Dam Construction*, Agosto.
- Smith A., *The Wealth of Nations*, Penguin Book.
- Solow, R. (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function", en *Review of Economics and Statistics*. Vol 37, Agosto.
- Solow R. (1994), "Perspectives on Growth Theory", *Journal of Economic Perspectives*, 8, Pags 45-54.
- Spence M (1983), "Contestable Markets and the Theory of Industry Structure: A Review Article", en *Journal of Economic Literature*, Vol XXI, 981-990.
- SPP-PNUD, "El Modelo Insumo-Producto". México.
- Stahlschlüssel-Taschenbuch*, (1995), Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, Deuchland.
- Statistical Abstract* EUA. Varios años.
- Steward, F. (1983), *Tecnología y Subdesarrollo*, FCE, México.
- Stoneman, P. (ed), (1995), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell, Oxford
- Strandskov, J. (1986), "Towards a new approach for studying the internationalization process of firms", reimpreso en Buckley P. y Ghauri P (ed) *The Internationalization of the Firm*, (1993), Academic Press, Londres.
- Sulzer Escher Wyss, (1988), Lista de referencia. Escher Wyss
- Takayama A. (1985), *Mathematical Economics*, CUP. Cambridge.
- Tinbergen (1984), en Freeman (1984)
- Tirole J. (1992), *The Theory of Industrial Organization*, MIT Cambridge, Massachusetts.
- Tirole J (1986), "Hierarchies and Bureaucracies: On the Role of collusion in Organization" *Journal of Law Economics and Organization*, 2(2), otoño, 181-214. Reimpreso en *Industrial Economics* (ed) O Williamson, 1990, EE.

- Townsend *et al* (1981), *Innovation in Britain Since 1945*, Occasional Papers series 16, Science Policy Research Unit, Universidad de Sussex.
- UNAM, "Catálogo de Innovaciones Orientadas a Resolver los Problemas Nacionales", UNAM.
- Unger, K. (1993), Productividad, desarrollo tecnológico y competitividad exportadora en la industria mexicana", en *Economía Mexicana*, CIDE, Vol II, Num 1. México.
- Unger, K., (1994), *Ajuste Estructural y Estrategias Empresariales en México*, CIDE.
- Utterback, J. y Burack E. (1975), Identification of Technological Threats and Opportunities by Firms, en *Technological Forecasting and Social Change* , 8, 7-21.
- Valenzuela, F.,(1984), *La Industria mexicana; tendencias y problemas*, UAM, Ixtapalapa.
- Van Duijn, J.J., (1984), "Fluctuations in Innovations over time ", en Freeman (1984).
- Varian, H. (1984), *Microeconomic Analysis*, W. Norton.
- Vazquez, E. (1981), "Crecimiento Económico y Productividad en la Industria Manufacturera", en *Economía Mexicana* N.3, México.
- VDMA (1991), German Turbines, VDMA, Frankfurt.
- Vergragt, P.J.,(1988), "The Social Shaping of Industrial Innovation " en *Social Studies of Science*. Vol. 18.
- Vernon (1966), "International investment and international trade in the product cycle", *Quarterly Journal of Economics*, Vol 80.
- Viejo, M. y Alonso (1977), *Energía Hidroeléctrica*, Limusa.
- Vincent, J. (1990), *Structural Biomaterial* , Princeton University Press. Nueva Jersey.
- Viqueira, J. (1988), "Proyecciones de Consumo Eléctrico en la Cuenca del Valle de México en el año 2000", en Guerra L.M (ed) , *Agua y Energía en la Cd. de México*, Fundación Friedrich Ebert, México.
- Voith, (1995), The Company, Voith.
- Voith, (1989), Turbinas Francis. Voith
- Vromen (1995), *Economic Evolution*, Routledge, Londres.
- Wals, V.,(1984), "Invention and Innovation in the Chemical Industry : demand-pull or discovery-push", en *Research Policy*, Vol. 15, Num 4.
- Walters, A. (1970), *An Introduction to Econometrics*, Macmillan, Londres
- Weeg, D. (1992), *Applications of Hydraulic Turbines*, mimeo, Voith.
- Welch, L. y Luostarinen, R. (1988) "Internationalization: evolution of a concept", reimpresso en Buckley P. y Ghauri P (ed) *The Internationalization of the Firm*, (1993), Academic Press, Londres.
- Whippen W.G., "Turbinas Hidráulicas" en *Manual de Ingenieros Mecánicos*, Marks, T. Bounefer.
- Williamson O (1991), "The Logic of Economic Organization", en *The Nature of the Firm* , (ed) o Williamson and S Winter , Reimpresso 1993, OUP
- Williamson O (1981) "The Modern Corporation: Origins, Evolution, Attributes", *Journal of Economic Literature*, 19, 1537-70.
- Williamson O (1979) "Transaction-Cost Economics: The Governance of contractual relations" *Journal of law and Economics* , 22 (2) 233-61. reimpresso en *Industrial Organization* , O Williamson, 1990 EE.
- Williamson O. , Wachter M., Harris J. (1975), "Understanding the Employment Relation: The Analysis of Idiosyncratic Exchange", en *The Bell Journal of Economics*, 6 (1975). Reimpresso en Puterman L (1987), *The Economic nature of the Firm*, CUP.
- Williamson O. (1975), *Markets and Hierarchies*. N Y. Fre Press
- Winter S (1991), "On Coase, Competence, and te Corporation", en *The Nature of the Firm* (eds) O. Williamson y S Winter, OUP. reimpresso 1993.
- Wionczek M. (1981), *Capital y Tecnología en México y América Latina*, M. A. Porrúa, México.
- Wyss E. "Turbinas Pelton", Catálogos
- Zaidman, B. y Cevidalli, G. (1989), "The Technology Efficiency Index: A Method for Measuring Process Technologies", *Technological Forecasting and Social Change*, 35, 51-62.