Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales ACATLAN

La Medición del Cambio Tecnológico

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

A C T U A R I O

P R E S E N T A:

JUAN VILLAGOMEZ MENDEZ

ACATLAN, EDO. DE MEXICO 1982

I N D I C E

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

En este estudio se intenta señalar la importancia y utilidad que tiene el uso de la estadística y de las matemáticas para la descripción del problema de medición del cambio tecnológico, o sea, la econometría del cambio tecnológico.

Se estudia al cambio tecnológico en relación al crecimiento de la productividad principalmente; sin embargo, existen algunos señalamientos de su relación con el crecimiento económico, la estructura del mercado y el desempleo, pero no se le da mucho énfasis; se intenta describir más que nada, la medición del efecto del cambio tecnológico en el crecimiento de la productividad; se señalan los principales modelos tratando de estructurarlos según las principales conceptualizaciones que se han tenido a través de la bibliografía existente hasta finales de los 70'S.

También se presenta otro aspecto que se refiere al proceso de difusión de las innovaciones; a esto es a lo que se le ha prestado mayor atención, después del de la medición. Aquí se intenta ver cuánto tiempo tarda una innovación en ser usada por todas las empresas en una industria, después de que ya se haya producido una tal.

Es de suma importancia señalar aquí, que el nivel de desarrollo del estudio es casi completamente teórico. Esto es así, porque su intención es hacer una recopilación teórica sobre la medición del cambio tecnológico, para que los interesados en el tema, tengan una visión global y se facilite la decisión de tomar un modelo específico de interés para su prueba y estimación, en el contexto de la economía (econometría) mexicana.

El marco teórico de referencia del estudio, es principalmente el de la Teoría Económica. En el primer capítulo se resume la economía del cambio tecnológico y se muestra la relación de éste con diversas áreas económicas como: el desempleo, la estructura del mercado y el crecimiento económico. El segundo capítulo se restringe a la teoría económica, y se especifica la relación existente entre el cambio tecnológico y el crecimiento de la productividad; para ésto, se sintetiza la teoría neoclásica respec tiva, se muestran los tipos y propiedades de las funciones de producción y finalmente, se presentan las conceptualizaciones y medidas del cambio tecnológico. El capítulo tercero es de interés primordial, en el se estructuran los modelos del cambio tecnológico en: modelos del cambio tecnológico exógeno, neutral desincorporado e incorporado; y, modelos del cambio tecnológico inducido. En el capítulo cuarto, se trata el problema de la difusión de las innovaciones entre las empresas de una industria, y se presentan dos tipos de modelos. El capítulo quinto, señala algunas observaciones a quienes se enfrenten con los problemas de estimación, de disponibilidad de información y del nivel de agregación. Finalmente, en el último capítulo, se presentan varias conclusiones generales y se sugerirán algunas recomendaciones sobre el uso de los modelos.

I. LA ECONOMIA DEL CAMBIO TECNOLOGICO.

Es un hecho notorio que el cambio técnológico es de enorme- importancia en el estudio del crecimiento y desarrollo económico. Sin embargo, es extraño que el proceso del cambio tecnológico ha empezado recientemente a recibir atención formal en las discusiones del crecimiento económico. Una de las ventajas de entender el proceso del cambio tecnológico es que nos ayuda a comprender la - naturaleza verdadera de la competencia en muchos mercados; es — obvio que ésta ocurre con la introducción de nuevos procesos y - productos. El cambio tecnológico tiene otras ramificaciones en el estudio de la economía; es una factor clave dentro del mercado de trabajo y en cuestiones concernientes a la formulación de instrumentos de Política Científica, Tecnológica y del medio ambiente. En este capítulo se intentará una interpretación de la economía - del cambio tecnológico.

a) El Cambio Tecnológico y la Economía.

Se puede afirmar categóricamente que el cambio tecnológico- es uno de los determinantes más importantes de la evolución de la economía de un país. El cambio tecnológico ha mejorado las condiciones del trabajo, ha permitido la reducción de las horas de trabajo, ha proporcionado un flujo creciente de productos viejos mejorados y de nuevos productos, y ha aumentado nuevas dimensiones- a nuestra forma de vida.

Los periódicos testifican todos los días la profunda influencia del cambio tecnológico en todos los sectores de la economía. En educación, el proceso enseñanza-aprendizaje es auxiliado con - máquinas (computadoras, video-cassetes, etc.); en Comunicaciones y Transportes son notables los avances tecnológicos en los vehículos espaciales; en la Industria, el proceso productivo se mejora- por la introducción de máquinas nuevas y mano de obra calificada; etc.

Desafortunadamente, el cambio técnológico tiene también el lado negativo y sombreado. Avances en la tecnología militar han - hecho posible la destrucción de la humanidad en una escala sin —

precedentes, la tecnología moderna ha provocado la contaminación del agua y del aire, la revolución tecnológica en la agricultura ha contribuido a crear serios problemas tanto rurales como urbanos.

La década de los 70's fue un período de renovada incertidumbre con respecto a las perspectivas a largo plazo del crecimiento económico y bienestar humano. Existen opiniones científicas sustentadas en investigaciones profundas que convergen en afirmar que el mundo está aproximandose rápidamente al límite del crecimiento tanto físico como cultural y que de seguir con las mismas tendencias, se llegará al colapzo. Para explorar, describir y explicar éstas tendencias se han elaborado modelos matemáticos apoyados en la teoría económica, auxiliados por la estadística y, sin embargo, no se ha superado la dificultad de considerar el progreso tecnológico como variable endógena al sistema económico. Esto ha obligado a los economistas a considerar dos supuestos con respecto a la tecnología: se considera como elemento exógeno (parámetro) y, además, "neutral" en el sentido de que se considera que no afecta la relación capital/trabajo; sobre estos supuestos se comentará más adelante cuando se describa la teoría neoclásica del cambio técnológico. Por ahora se puede decir que estos supuestos son inconsistentes con los hechos del desarrollo económico, puesto que la adopción de tecnología favorece un patrón particular de crecimiento, crea problemas de empleo y de distribución del ingreso, etc.

En esencia, existe una influencia mutua de las fuerzas socio-económicas y el progreso técnico. La estructura del sistema de producción condiciona -muchos autores dicen "determina"- la lógica y la evolución del desarrollo tecnológico. Esto implica que el progreso tecnológico no puede ser examinado al márgen de las fuerzas sociales que conducen a él, permitiendo su materialización y subsiguiente incorporación a las actividades productivas y sociales. Por otro lado, el progreso científico y tecnológico altera constantemente las características del sistema productivo, tanto en las economías capitalistas como en las socialistas, siendo imposible descuidar el hecho de que el surgimiento de la investigación industrial organizada, y la aparición de una tecnología vinculada a la ciencia, han sido factores decisivos en la apertura de nuevos caminos para la acumulación capitalista y en la aceleración del proceso de crecimiento industrial.

b) El Cambio Tecnológico y Crecimiento Económico.

Por lo general se define el nivel de desarrollo económico de un país en términos del ingreso por habitante y el proceso de desarrollo se define en términos de la tasa de crecimiento del Producto Nacional Bruto.

El significado de mantener una alta tasa de crecimiento económico es ampliamente aceptado; las tasas de crecimiento han sido establecidas como objetivos fundamentales por los gobiernos de los países con diversos sistemas económicos, como Francia, Inglaterra, Rusia, Yugoslavia, Suiza, etc. El crecimiento económico es también un objetivo importante a nivel internacional.

Hasta hace algunas décadas, prevalecía el pensamiento neoclásico del desarrollo económico, que en líneas generales posee un carácter microeconómico, estático y parcial. En este contexto, los modelos simples de Harrod-Domar que dominaron la teoría del crecimiento en los años 50's, que sugieren aumentos en el cociente capital/trabajo, fueron vistos como la única fuente del aumento de los ingresos por habitante. Johansen(20,1959), Harrod(15,1948).

A pesar de los modelos más sofisticados que estuvieron disponibles en los años 60's, el crecimiento del producto fue estrechamente determinado por aumentos en la fuerza de trabajo y capital físico, por el cambio técnico, y por mejoras en la calidad del capital humano. Solow(43,1957), Solow(44,1962), Salter(38,1966), Uzawa(48,1961). Por ejemplo, según en la teoría del crecimiento de Solow(42,1976,p. 185), se estipula: "la tasa de crecimiento natural en el caso más sencillo, con estado estable, es la suma de la tasa de crecimiento de la oferta de trabajo más la tasa del progreso técnico que amplifica exclusivamente el trabajo" y que para modificar la tasa de crecimiento del producto real por persona, se necesita modificar la tasa de pro greso técnico.

Por otro lado, Rostow(37,1961), al formular su teoría, intento proporcionar una descripción y una explicación del proceso de crecimiento económico. Al hacerlo propuso una interpretación lineal de la historia económica, postulando cinco etapas a través de las cuales todo país debe pasar antes de alcanzar los niveles actuales de las sociedades avanzadas: La etapa tradicional o prenewtoniana, las precondiciones para el despegue, el despegue hacia el crecimiento autosostenido, el impulso hacia la madurez tecnológica, y la era del consumo masivo. En la etapa de impulso hacia la madurez tecnológica, la economía empieza a absorber y a aplicar de manera más o menos plena los recursos disponibles en el ancho cauce de la ciencia y la tecnología.

Siguiendo la orientación de la teoría neoclásica, Ruttan y Binswanger(5,1978), en un intento por descubrir los roles jugados por los precios de los factores, precios de los bienes y otras variables económicas en la determinación de la tasa y dirección del cambio técnico, formularon modelos econométricos llamados de innovación inducida. Como se notará, este tipo de cambio técnico es inducido por los cambios en los precios de los factores relativos o por los cambios en la asignación de recursos y distribución del ingreso que están asociados con el crecimiento económico. Tradicionalmente, las políticas económicas orientadas al crecimiento están enfocadas sobre el mejoramiento en la eficiencia de utilizar los recursos y sobre la modificación de la conducta del ahorro y la inversión.

Como ya se señaló el cambio técnico era considerado como un fenómeno exógeno sin influencias de fuerzas económicas, aunque se hicieron algunos intentos por endogenizarlo. Sin embargo, fue hasta que se publicó el libro de Jacob Schmookler "Invention and Economic Growth" (Cambridge: Harvard University Press, 1966), que se consideró el cambio tecnológico como algo que puede ser totalmente explicado por fuerzas económicas. Schmookler argumenta que la actividad inventiva es esencialmente un fenómeno económico, y que puede ser adecuadamente entendido en términos del aparato analítico del economista.

El creciente interés en el rol del cambio tecnológico, co mo un factor contribuyente al crecimiento económico, llevó a investigaciones empíricas particularmente en dos áreas:

1) Intentos para cuantificar la contribución del cambio tecnológico en el crecimiento a largo plazo de la productividad.

2) Intentos para estudiar la tasa a la cual nuevas innovaciones, una vez realizadas, son difundidas en toda la economía.

Las innovaciones ejercen impacto sobre la productividad, en la medida en que son adoptadas por el proceso productivo; Rosenberg(36,1977)

c) Cambio Tecnológico y Desempleo.

Cuando se menciona el cambio tecnológico, lo primero que se piensa es acerca del desempleo. El miedo al desempleo tecnológico no es nada nuevo; actitudes sociales que datan de mediados del siglo XVIII han contribuido a formar resistencia a las nuevas técnicas por muchos grupos de trabajadores. Una actitud que predomina es "hundirse ó nadar", aunque ya suavizada, existe el sentimiento creciente de que la sociedad es la que tiene la obligación de minimizar las pérdidas y fijar mecanismos de adaptación o ajuste. Los políticos están obligados a enfrentarse con los cambios en la composición y distribución de la fuerza de trabajo inducidos por el cambio tecnológico (y por otros). En los convenios colectivos de trabajo se preocupan contínuamente con el problema de permitir cambios en las técnicas mientras se proteje la seguridad del trabajador.

Pero, ¿Es cierto que aumentos en la tasa de cambio tecnológico necesariamente resulten en aumentos en el desempleo agregado?

Algunos economistas creen que el problema del desempleo es de - bido a una inadecuada demanda agregada de bienes y servicios y crecimiento de la fuerza de trabajo.

Nelson, Peck y Kalachek(32, 1969) analizaron las formas - en que la economía se ajusta a los cambios tecnológicos y las - políticas relativas al progreso técnico.

Frances Stewart(45,1978) revisó enfoques recientes al pro blema del empleo en cuanto a su definición, naturaleza y origen y los relaciona con la tecnología en países pobres. También Ste wart analizó cómo el desarrollo histórico de la tecnología ha- tenido grandes implicaciones en el nivel de ingresos per capita (salarios), en la calidad de la mano de obra(educación y adies- tramiento), etc.

Baer y Hervé mostraron como el capital por persona y la - tasa de empleo han aumentado con el tiempo con influencias del cambio tecnólógico. (3,1966).

Mansfield(25,1971) dedica un capítulo para analizar la re lación entre la automatización, el trabajo y el gobierno. Aquí señaló los problemas del cambio tecnológico, la demanda agrega da y el desempleo estructural; las políticas sindicales hacía - las nuevas técnicas, etc.

d) Cambio Tecnológico y Estructura del Mercado.

Alejandro Nadal Egea(29,1977), en su estudio sobre los - Instrumentos de Política Científica y Tecnológica en México, - considera dos grupos de factores que condicionan o determinan-- la orientación del cambio técnico. Por una parte, se encuentran las características estructurales de cada rama industrial que - condicionan el papel que tiene el progreso técnico dentro de ca da rama:

1) Niveles de concentración industrial

2) Tamaño del Mercado

3) Participación de la inversión extranjera directa.

4) Canales más importantes de competencia

5) Relaciones capital-trabajo, capital-producto y producto-trabajo

6) Barreras a la entrada y distribución de las empresas por tamaños

7) Eslabonamiento con otras ramas del sistema económico.

El segundo grupo de factores se situa a nivel de cada una de las empresas:

1) Tamaño (en términos de personal ocupado y capital social) y escala de producción.

2) Propiedad (privada, nacional o extranjera, pública o mixta)

3) Localización geográfica

4) Organización interna.

Un número de cuestiones importantes pueden surgir en este contexto: ¿Es cierto, como algunos reclaman, que la innovación es la competencia de las empresas muy grandes?, ¿es considerable el poder del monopolio, medido por una alta concentración del mercado como conductor a una tasa rápida de cambio tecnológico?, Mansfield y otros(26,1977), basándose en algunos estudios empíricos, han ofrecido algunas respuestas tentativas fundamentadas en los encuentros de Jewkes et al(19,1969), Scherer(40,1970) y otros autores.

Es claro que las empresas pequeñas y los inventores independientes juegan un rol enorme - tal vez desproporcionadamente grande- en la concepción de nuevas ideas importantes y mejores inventos.

Basándose en los estudios de Scherer, también es claro que las firmas más grandes generalmente no gastan más en Investigación y Desarrollo Experimental (IDE), relativo a su tamaño, que las más pequeñas. Según Scherer, un aumento en el tamaño de la empresa en más de 5000 empleados generalmente no está acompañado de un incremento proporcional en las innovaciones de procesos y productos. Así, la evidencia no parece indicar que las empresas gigantes dediquen más recursos, relativo a su tamaño, a las actividades inventivas e innovativas que sus competidores más pequeños. Sin embargo, existe alguna evidencia de que por cada dólar asignado a IDE, las empresas más grandes obtienen menos producto inventivo e innovativo que las empresas más chicas.

Por otro lado, analizando la relación entre la concentración industrial y la tasa de cambio tecnológico en la industria, la mayoría de los estudios parecen indicar que una concentración industrial leve puede promover más rápido la invención y la innovación.

Sylos Labini (46, 1966), al discutir la teoría del oligopolio, argumenta que el capitalismo moderno se caracteriza en muchas de sus ramas más importantes por un proceso de expansión del volúmen de un número relativamente decreciente de empresas, y que el factor principal condicionante de semejante proceso es el progreso técnico.

Finalmente tres puntos adicionales deben hacerse notar:

1ro, existe mucha evidencia de que las empresas nuevas y las que entran a nuevos mercados juegan un papel importante en la promoción del cambio tecnológico.

2do, es un acuerdo general por los economistas que la estructura de mercado ideal, es aquella donde exista una mezcla de empresas de varios tamaños.

3ro, a veces surgen casos en que las industrias están compuestas por empresas pequeñas, o existen mercados muy fragmentados de tal forma que se impide el cambio tecnológico.

II. CAMBIO TECNOLOGICO Y CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.

Desde los tiempos de Adam Smith, los economistas han estado interesados en la productividad: el cociente del producto al insumo. Es un objetivo declarado delos gobiernos elevar la productividad en la industria; pero pueden ser poco acertadas las medidas de política adoptadas sin un entendimiento de las causas básicas del aumento de la productividad. Detrás de la productividad yacen todas las fuerzas dinámicas de la vida económica: progreso técnico, acumulación, etc. y es esencial que se haga un intento para entender las relaciones entre la productividad y éstas fuerzas dinámicas.

Una de las medidas más antiguas, comunmente usadas, para medir la productividad es aquella relativa al trabajo, esto es, el producto por horas-hombre de trabajo. Uno de los determinantes de la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo es la tasa del cambio tecnológico. En una industria específica o en toda la economía, una tasa rápida de cambio tecnológico es probable que provoque, "ceteris paribus", una alta tasa del crecimiento de la productividad del trabajo. Otro factor que influye, es el grado en el cuál el capital es sustituido por el trabajo en respuesta a cambios en los precios relativos de los insumos; obviamente, los incrementos en el monto de capital por trabajador aumentarán la productividad del trabajo. También, los aumentos en ésta, pueden deberse a las economías de escala o a los aumentos en el grado en el cuál es usada la capacidad productiva. Finalmente, la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo depende de la naturaleza, también como de la tasa del cambio tecnológico; el cambio tecnológico ahorrador de trabajo provoca aumentos más grandes en la productividad del trabajo que el cambio tecnológico ahorrador de capital y neutral.

Los intentos para separar y medir las relaciones entre la producción, productividad de los trabajadores y el cambio tecnológico, se centran frecuentemente en el concepto de una función de producción única estimable. O sea, la función de producción es utilizada como un medio instrumental para evaluar la productividad y estimar el cambio tecnológico.

En las próximas secciones se hará una síntesis de la teoría neoclásica del cambio tecnológico, se conceptualizará el cambio tecnológico, se presentarán las características de las funciones de producción y, finalmente, se analizarán los índices de productividad como medidas del cambio tecnológico.

2.1. Una Síntesis de la Teoría del Cambio Tecnológico.

La Teoría Económica de la Escuela Neoclásica logró sustentarse en un marco teórico de referencia altamente riguroso y coherente, producto de casi más de un siglo de trabajo. Su análisis se centra en los postulados de un modelo estático competitivo y en el equilibrio interno de las economías del mercado.

Para los neoclásicos, la tecnología es una variable exógena o completamente indepediente de las fuerzas internas del sistema económico. El precio de cada factor productivo estaba determinado por su contribución productiva y la oferta-demanda de cada uno de ellos en los mercados de factores. El área de la producción se convirtió en un caso especial de las leyes más generales del cambio. La función de producción ingresa al análisis económico como dada a partir de consideraciones tecnológicas, y la tecnológía incorporada en la relación de producción actúa como una limitante en el proceso de toma de decisiones. Una función de producción expresa la relación entre una máxima producción y los factores requeridos para realizarla (capital y trabajo); los economistas han recurrido a tales funciones para describir la conducta en el nivel de la unidad productiva y las funciones de producción agregadas en los niveles sectorial y nacional.

La generalidad de la función de producción, surge del hecho de que abstrae ciertas magnitudes técnicas y económicas y esto permite resólver y analizar varios problemas económicos y describir varios tipos de cambio tecnológico.

La función de producción tiene implícita una tecnología con las características siguientes:

a) Su eficiencia, que determina el producto resultante de -

determinados insumos

b) Economías de escala, tecnológicamente determinadas, que describen hasta que punto una modificación proporcional de los insumos genera un cambio proporcional del producto

c) La intensidad de capital, que denota el peso específico puesto en el capital en comparación con el factor trabajo

d) La facilidad con que el capital es sustituido por trabajo, o sea, la elasticidad de la sustitución de factores.

Apenas en los decenios de 1950 y 1960 se llegó a prestar atención a la introducción explícita de consideraciones tecnológicas dentro del marco de la teoría neoclásica de la función de producción. Pero se encontraron con la interrogante de en qué sentido exacto debía definirse la tecnología (y por consiguiente el cambio técnico) en una teoría particular de la producción en la que, de hecho, ésta se reduce a una serie de intercambios entre los agentes económicos.

Parecería normal que si tuviera que desprenderse del punto de vista de la teoría neoclásica una concepción del cambio técnico, tendría lógicamente que definirse todo el problema como una elección entre opciones ya existentes; esto significa que los agentes económicos se encontrarían ex-ante frente a un listado de métodos de producción, en vez de concebir que los agentes crean tales métodos ex-post. Esto plantea un problema grave para la explicación convencional del cambio técnico en términos de fuerzas económicas; por ejemplo, como el ajuste que realiza un tipo de agente económico (el empresario) a cambios en el precio relativo de los factores.Kennedy y Thirwall(24,1972), Salter(38,1966) y Samuelson(39,1965) han criticado severamente este enfoque del problema. Este se analiza en el inciso 2.1.1.

Otro ejemplo de los problemas que surgen cuando se trata de integrar un análisis del cambio técnico dentro de la teoría neoclásica es que durante mucho tiempo, los autores neoclásicos se preocuparon por la cuestión de tener en cuenta dentro de su marco teórico el cambio técnico que reduce costos (así como las economías de escala), sin introducir al mismo tiempo efectos perturbadores sobre las estructuras competitivas. En consecuencia tuvo que suponerse que dicho cambio tenía efectos uniformes y, generalmente, no perturbadores sobre las estructuras competitivas; el acceso a las técnicas debió ser supuesto como uniforme o "igual" para todos los agentes. (Ver la sección b del primer capítulo para la discusión de éste problema.

La noción del cambio técnico "neutral" es otro caso pertinente de la manera limitada en que la teoría neoclásica trata de abordar los problemas planteados en el análisis del cambio técnico. La definición propuesta por Hicks en su Teoría de los Salarios tenía que ver más bién con la necesidad de explicar la constancia histórica general de las participaciones distributivas. Harrod creó un tipo distinto de neutralidad con el fin de desarrollar su teoría del crecimiento de equilibrio. Estas definiciones se señalarán en el capítulo III, en donde se analizan los modelos del cambio técnico neutral.Por lo que resulta interesante señalar aquí que estos intentos por clasificar el cambio técnico se relacionan más bien con la preocupación formal por mantener las propiedades esenciales de la función de producción como una representación correcta de las leyes neoclásicas de la distribución. En conclusión, las características del cambio técnico como elemento exógeno son reforzadas por estas clasificaciones de la neutralidad.

2.1.1. El Problema de la Proporción de los Factores y la Selección de Técnicas.

Este problema surge cuando un agente económico realiza un ajuste a cambios en el precio relativo de los factores. Salter, Samuelson y Kennedy han concluido que, puesto que en condiciones de competencia perfecta es incorrecto decir que las fuerzas del mercado inducen a la adopción de técnicas que ahorran fuerza de trabajo porque el empresario está ocupado en reducir los costos totales y no un tipo particular de costos.

Si introducimos la hipótesis adicional de que la tecnología no está dada exógenamente, surge el problema de que tendría que darse una explicación a la asignación de los recursos, requerida para generar el conocimiento técnico. ¿Cómo se supone que debe operar el mecanismo de mercado para asignar recursos para la generación de técnicas que reflejan combinación de factores que no están justificadas por las actuales proporciones entre los factores?

En este planteamiento del problema surge la teoría de la innovación inducida cuyo primer exponente fue Hicks(17,1963) y que ahora esta completamente desarrollada por Binswanger y Ruttan (5,1978).

2.1.2. La Teoría de la Innovación de Schumpeter

Schumpeter ha logrado ampliar considerablemente el espectro y el poder de la aproximación neoclásica o la comprensión de los procesos de la evolución económica y del cambio técnico, a través de sus ideas sobre la inestabilidad del capitalismo y sobre el papel que juega la innovación en la producción de tal inestabilidad.

Schumpeter desarrolla su teoría de la innovación para manejar situaciones en las que el curso del progreso técnico introduce interferencias que conducen a un tipo de adaptación que consiste en "modificar las características internas del sistema". Para él, lo que domina el panorama de la vida capitalista y resulta el principal responsable de nuestra impresión de una prevalencia de costos decrecientes, que causan desequilibrios, competencia sin cuartel y todo lo demás, es la innovación, la intromisión en el sistema de nuevas funciones de producción que sin cesar desplazan las curvas de costos establecidas.

La teoría de la innovación Schumpeteriana postula tres presupuestos básicos:

Primero: Las innovaciones implican la construcción de nuevos equipos y plantas -o la reconstrucción de los antiguos- con el consiguiente requisito de inversiones sustantivas y de tiempo. Esto implica restringir el concepto de innovación a un cambio del primer orden en la función de producción.

Segundo: Se considera que toda innovación se encuentra incorporada a una nueva firma fundada con tal propósito.

Tercero: Las innovaciones siempre vienen asociadas a la opinión de nuevos líderes, incluido aquí el caso en que una nueva persona se hace cargo de una antigua firma.

Al reunir la acción del empresario, el proceso de innovación y la evolución del capitalismo, Schumpeter dió un paso importante hacia una comprensión más clara de la relación entre tecnología y evolución económica, permitiendo que la escuela neoclásica trascendiera el marco impuesto por un análisis estático.

2.2. Funciones de Producción. Tipos y Propiedades.

En vista de que la función de producción es el instrumento analítico central para la medición de la productividad y el cambio técnico, en esta sección se presentarán los diferentes tipos de funciones de producción y sus correspondientes propiedades. Además, es esencial especificar la forma de la función de producción antes de proceder a la estimación de los parámetros.

Las propiedades que se consideran para cada tipo de función de producción son válidas para todas las funciones de producción; estas propiedades son propuestas por la teoría neoclásica de la producción. Realmente éstas son los supuestos con los que trabaja la teoría neoclásica, y las más sobresalientes son:

a) Los productos marginales de cada insumo son siempre positivos, pero en algún punto, las derivadas del producto marginal con respecto a los insumos son negativas a causa de la ley de los rendimientos decrecientes.

b) El concepto de escala es considerado por la propiedad matemática de la homogeneidad. Sea F una función homogénea de grado w; entonces si

- $w = 1 \Rightarrow$ F exhibe rendimientos constantes a escala.
- $w < 1 \Rightarrow$ F exhibe deseconomías de escala.
- $w > 1 \Rightarrow$ F exhibe rendimientos crecientes a escala.

c) Otra característica de la función de producción es el grado de sustitución que exhibe, medida por la elasticidad de sustitución entre los insumos (σ), la cuál se define como el cambio porcentual en el cociente de los insumos dividido entre el cambio porcentual en la tasa marginal de sustitución de los dos insumos (factores: capital y trabajo). puede variar entre cero e infinito.

Si,

$\sigma = 1 \Rightarrow$ F es una función de producción de Cobb-Douglas.

$\sigma = 0 \Rightarrow$ F es una función de producción Insumo-Producto.

$\sigma = \infty \Rightarrow$ F es una función de producción Lineal.

d) Si los factores son comprados en mercados de competencia perfecta y pagados en su valor marginal, entonces la función de producción es un determinante de la participación que tendrá cada factor en la producción.

2.2.1. Función de Producción Lineal.

El término lineal se le atribuye a que el grado de la función de producción es la unidad en el sentido del teorema de Euler:

Si la función $Q = F(K,L)$ tiene la propiedad de que para —

cualquier constante λ,

$$F(\lambda K, \lambda L) = \lambda^{w} F(K,L)$$

se dice entonces que Q es de grado w. Como se estipuló en la propiedad (b), si $w = 1$, la función F se llama lineal homogénea.

Puede demostrarse que

$$\frac{\partial Q}{\partial K}\cdot K + \frac{\partial Q}{\partial L}\cdot L = wF(K,L) \qquad (1)$$

lo cual se conoce como el Teorema de Euler.

Entonces la función lineal homogénea será:

$$\frac{\partial Q}{\partial K}\cdot K + \frac{\partial Q}{\partial L}\cdot L = Q \qquad (2)$$

$\frac{\partial Q}{\partial K}$ y $\frac{\partial Q}{\partial L}$ son las productividades marginales de K y L respectivamente[1/]. En la ecuación anterior, el producto total Q es asignado a los dos factores con base en sus productividades marginales. En esta ecuación también está expresada la propiedad (d) de que cada insumo se paga al valor de su productividad marginal y que el producto total se agota por completo.

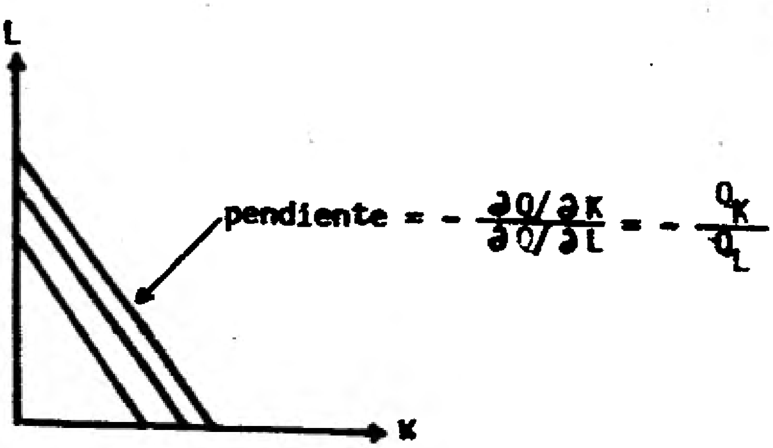


Fig. (1). Función de Producción Lineal

1/ La productividad marginal de uno de los dos insumos es la tasa de incremento del producto total a medida que crece dicho insumo, suponiendo que la cantidad del otro insumo permanece constante.

La pendiente es la tasa a la cuál debe sustituirse K por L para mantener el nivel de producción constante o igual y se le denomina tasa marginal de Sustitución (S).

Las curvas de igual producto o isocuantas, muestran cada una las combinaciones de factores K y L que conducen a una cantidad - especificada. Estas se forman de tal manera que una disminución - en la cantidad de un factor se compensa con el aumento en la cantidad del otro factor. Las isocuantas son de varias formas, dependiendo de la naturaleza de la función de producción, pero en general tienen pendientes negativas y son convexas hacía el origen en el área de interés.

En la función de producción lineal homogénea existen rendimientos constantes a escala puesto que $w = 1$; la cantidad producida crece en la misma proporción que lo hacen los insumos.

Observando la gráfica, puesto que la isocuantas son líneas - rectas, los insumos (K y L) pueden ser sustituidos libremente uno por otro en alguna proporción fija sin disminuir en algún momento el producto. Esto implica que la tasa marginal de sustitución es infinita y por lo mismo también lo es la elasticidad de sustitución, $\sigma = \infty$.

Por otro lado si dividimos (2) entre Q tenemos

$$\frac{(\partial Q/\partial K)K}{Q} + \frac{(\partial Q/\partial L)L}{Q} = 1$$

$$\frac{wL}{Q} + \frac{rK}{Q} = 1 \quad \Rightarrow \alpha + \beta = 1$$

w: tasa de salarios $(\partial Q/\partial L)$

r: tasa de interés $(\partial Q/\partial K)$

$\alpha = \frac{rK}{Q}$: participación relativa del capital en el producto.

$\beta = 1 - \alpha = \frac{wL}{Q}$: participación relativa del trabajo

También a α y β se les denomina elasticidad del producto del capital y trabajo respectivamente y la elasticidad de la producción es igual a $\alpha + \beta = 1$.

2.2.2. Función de Producción Insumo-Producto.

La construcción gráfica de la función de producción, se hará en el contexto del análisis de actividad. Se considerará el caso de un proceso único, suponiendo la existencia de un vector de actividad constante $A_1 = [K_1, L_1]'$ para el único bién producido.

Para un nivel específico de producción, Q = 1, se tendrá

$$1 = F(K_1, L_1)$$

puesto que este nivel de producción solo podrá lograrse con K_1 y L_1; y $F(K_1, L_1)$ se refiere al valor de la función de producción en un punto específico A_1 como se ve en la figura siguiente,

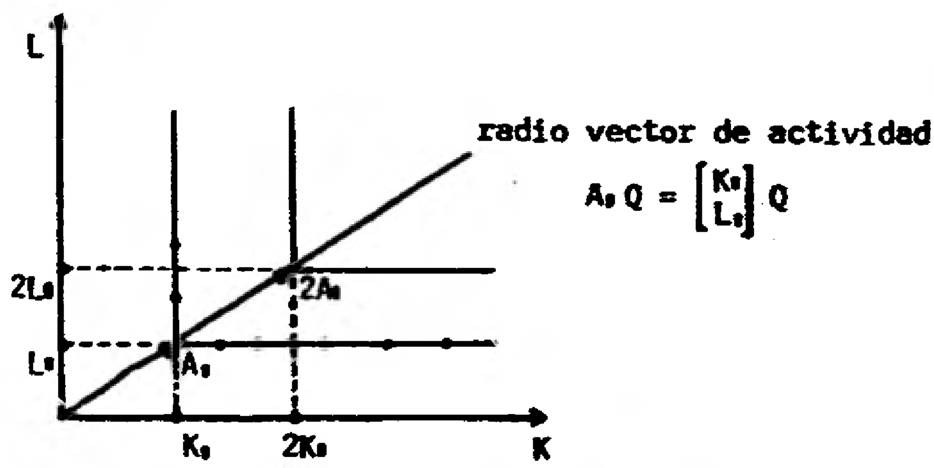


Fig. (2). Función de Producción Insumo-Producto

Debido al supuesto de rendimientos constantes a escala, es fácil deducir que la isocuanta para Q = 2, que también es un punto único, será $2A_1 = 2[K_1, L_1]'$. Además todas estas isocuantes son múltiples no negativos del vector de actividad A_1 y se encuentran sobre la recta del radio vector de actividad. Es posible reinterpretar los puntos, que representan isocuantas, de la figura (2) como curvas en el siguiente sentido: en virtud de los índices fijos de insumo, sabemos que si el capital se mantiene en K_1, en tanto que el trabajo aumenta por encima de L_1, la producción permanecerá en $Q = 1$, debido a que el trabajo excedente es éstéril en ausencia de un incremento conjunto en el capital. Para el caso de capital excedente se obtiene un resultado similar. Este hecho se expresa matemáticamente como:

$$1 = F(K_1 , L_1+\delta) \text{ y } 1 = F(K_1+\delta , L_1) \qquad \delta > 0.$$

Como se ha visto, esta función de producción no permite sustitución alguna entre los factores, puesto que las cantidades de todos y cada uno de los factores son proporcionales y fijas a un nivel de producto; por lo tanto la elasticidad de sustitución es nula $\sigma = 0$.

2.2.3. Función de Producción de Cobb-Douglas.

El tipo de función de producción más comúnmente usada es la función de Cobb-Douglas(7,1928). Esta tiene la forma siguiente:

$$Q = AK^{\alpha} L^{\beta} \qquad (3)$$

Q; Monto de la Producción.
K: Monto del Capital.
L: Cantidad de Trabajo.
α, β : Participaciones Relativas del Capital y trabajo respectivamente.

a) Propiedad de Homogeneidad.
Q es homogenea de grado $\alpha+\beta$
Si δ es un factor de escala positivo,

$$\delta Q = \delta[AK^{\alpha}L^{\beta}] = A(\delta K)^{\alpha}(\delta L)^{\beta} = \delta^{\alpha+\beta}AK^{\alpha}L^{\beta}.$$

.Si $\alpha+\beta = 1$, Q es linealmente homogénea, con retornos constantes a escala.

$$\alpha+\beta = 1 \rightarrow \beta = 1-\alpha \rightarrow Q = AK^{\alpha}L^{1-\alpha} = A\left(\frac{K}{L}\right)^{\alpha}L = ALk^{\alpha} ; \; k = \frac{K}{L}$$

b) Las productividades marginales son positivas.

Productividad del Trabajo: $\frac{Q}{L} = Ak^{\alpha}$ . . . . (4)

Productividad del Capital: $\frac{Q}{K} = A\left(\frac{L}{K}\right)k^{\alpha} = A\left(\frac{1}{k}\right)(k)^{\alpha} = Ak^{\alpha-1}$ (5)

Productividad Marginal del Trabajo:

$$\frac{\partial Q}{\partial L} = AK^{\alpha}(1-\alpha)L^{-\alpha} = A(1-\alpha)k^{\alpha} = (1-\alpha)Q/L \qquad (6)$$

Productividad Marginal del Capital

$$\partial Q/\partial K = A\alpha K^{\alpha-1}L^{1-\alpha} = A\alpha K^{\alpha-1}L^{-(\alpha-1)} = A\alpha k^{\alpha-1} = \alpha Q/K \qquad (7)$$

c) Teorema de Euler.

$$K\frac{\partial Q}{\partial K} + L\frac{\partial Q}{\partial L} = K(\alpha Q/K) + L((1-\alpha)Q/L) = Q$$

d) Las isocuantas tienen pendiente negativa.

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial L^2} = \frac{\beta(1-\beta)Q}{L^2} ; \; \frac{\partial^2 Q}{\partial K^2} = \frac{K\alpha Q_K - \alpha Q}{K^2} = \frac{\alpha(1-\alpha)Q}{K^2} \qquad (8)$$

$Q_{KK} < 0$ y $Q_{LL} < 0$ si $\alpha < 1$ y $\beta < 1$

Por lo tanto $0 < \alpha < 1$ y $0 < \beta < 1$.

.Tasa Marginal de Sustitución (S):

$$S = \frac{(1-\alpha)K}{\alpha L} = \frac{\beta K}{\alpha L} \tag{9}$$

e) Elasticidad de Sustitución Unitaria.

$$\sigma = \frac{d\ln(K/L)}{d\ln S} = \frac{d(K/L)/(K/L)}{dS/S} = \frac{d(K/L)/dS}{(K/L)/S} \tag{10}$$

$$S = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{K}{L}\right) \rightarrow dS = \frac{\beta}{\alpha}\, d(K/L) \rightarrow \frac{d(K/L)}{dS} = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$\therefore\ \sigma = \frac{\alpha/\beta}{(K/L)/S} = \frac{\alpha/\beta}{(K/L)/\frac{\beta K}{\alpha L}} = 1$$

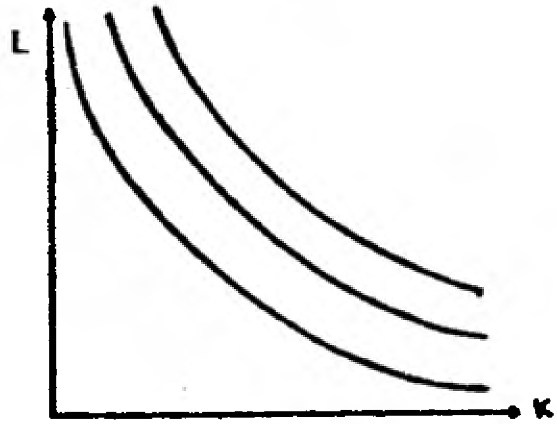


Fig. (3). Función de Producción de Cobb-Douglas

Independientemente de que $\alpha + \beta \neq 1$, la función de producción de Cobb-Douglas tendrá una elasticidad de sustitución igual a la unidad.

f) Si suponemos que cada factor es pagado por el monto de su producto marginal, la participación relativa del capital en el producto total es α, y la participación relativa del trabajo (Elasticidades de Producción) se denota por $\beta = 1-\alpha$.

.Elasticidad de producción de K,

$$E_K = \frac{K(\partial Q/\partial K)}{Q} = \frac{K\alpha Q/K}{Q} = \alpha \qquad \text{de } (7)$$

.Elasticidad de Producción de L,

$$E_L = \frac{L(\partial Q/\partial L)}{Q} = \frac{L(1-\alpha)Q/L}{Q} = 1-\alpha=\beta \quad \text{de } (6)$$

2.2.4. Función de Producción con Elasticidad de Sustitución Constante. (Función de Producción E.S.C)

Arrow, Chenery, Minhas y Solow(2,1961), propusieron otra forma de función de producción como una generalización de la función de Cobb-Douglas con una elasticidad de sustitución constante pero distinto de la unidad.

$$Q = \gamma\left[(1-\delta)K^{-\rho} + \delta L^{-\rho}\right]^{-v/\rho} \qquad (11)$$

γ : Parámetro de Eficiencia, sirve como indicador del estado general de la tecnológía.

δ : Parámetro de Distribución, tiene relación con las participaciones relativas de los factores en el producto.

ρ : Parámetro de Sustitución, determina el valor de la elasticidad de sustitución constante pero no necesariamente la unidad.

v : Parámetro de Escala.

a) Propiedad de Homogeneidad. Q es homogénea de grado v . Si $\lambda>0$,

$$\lambda Q = \lambda\left\{\gamma\left[(1-\delta)K^{-\rho}+\delta L^{-\rho}\right]^{-v/\rho}\right\} = \gamma\left[(1-\delta)(\lambda K)^{-\rho}+\delta(\lambda L)^{-\rho}\right]^{-v/\rho}$$

$$= \gamma\left[\lambda^{-\rho}\left[(1-\delta)K^{-\rho}+\delta L^{-\rho}\right]\right]^{-v/\rho} = \lambda^{-\rho(-v/\rho)}\left[\gamma\left[(1-\delta)K^{-\rho}+\delta L^{-\rho}\right]^{-v/\rho}\right]$$

$= \lambda^{v} Q \quad \therefore \quad Q$ es homogénea de grado v.

- .Si $v = 1$, Q es linealmente homogénea con retornos constantes a escala.
- .Si $v > 1$, Q exhibe retornos crecientes a escala.
- .Si $v < 1$, exhibe retornos decrecientes a escala.

b) Productividades Marginales

$$Q_K \equiv \frac{\partial Q}{\partial K} = \left(\frac{-v}{\rho}\right)\gamma(1-\delta)(-\rho)K^{-\rho-1}\left[(1-\delta)K^{-\rho}+\delta L^{-\rho}\right]^{-(v/\rho)-1} \quad \ldots (12)$$

$$= \frac{v\gamma(1-\delta)}{K^{1+\rho}} \cdot \left[\frac{Q}{\gamma}\right]^{1+\rho/v}$$

$$= \frac{(1-\delta)}{K^{1+\rho}} \cdot AQ^{1+\rho/v} \quad ; \quad A = v/\gamma^{\rho/v}$$

$$Q_L \equiv \frac{\partial Q}{\partial L} = \left(\frac{-v}{\rho}\right)\gamma(\delta)(-\rho)L^{-\rho-1}\left[(1-\delta)K^{-\rho}+\delta L^{-\rho}\right]^{-(v/\rho)-1} \quad \ldots (13)$$

$$= \frac{v\gamma\delta}{L^{\rho+1}} \cdot \left[\frac{Q}{\gamma}\right]^{1+\rho/v}$$

$$= \frac{\delta AQ^{1+\rho/v}}{L^{1+\rho}}$$

.Tasa Marginal de Sustitución (S):

$$S = \frac{Q_L}{Q_K} = \frac{\delta}{1-\delta} \cdot \left(\frac{K}{L}\right)^{1+\rho} \qquad \ldots \quad (17)$$

c) Elasticidad de Sustitución σ .

$$\sigma = \frac{d\ln(K/L)}{d\ln(Q_L/Q_K)} = 1/(1+\rho) \qquad \ldots \quad (18)$$

puesto que $\frac{Q_L}{Q_K} = \frac{\delta}{1-\delta}\left(\frac{K}{L}\right)^{1+\rho} \Rightarrow \frac{K}{L} = \left(\frac{1-\delta}{\delta}\right)^{1/(1+\rho)}\left(\frac{Q_L}{Q_K}\right)^{1/(1+\rho)}$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{K}{L}\right) = \ln\left[\frac{1-\delta}{\delta}\right]^{1/(1+\rho)} + \frac{1}{1+\rho} d\ln\left(\frac{Q_L}{Q_K}\right) \Rightarrow d\ln\left(\frac{K}{L}\right) = \frac{1}{1+\rho} d\ln\left(\frac{Q_L}{Q_K}\right)$$

$\therefore \quad \sigma = 1/(1+\rho)$

Puesto que $\sigma > 0$, $\rho > -1$ y $\rho/\rho > 0$.

La relación $\sigma = 1/(1+\rho)$, muestra que σ es una constante cuya magnitud depende del valor del parámetro ρ, así:

Si

$-1 < \rho < 0 \Rightarrow \sigma > 1$

$\rho = 0 \Rightarrow \sigma = 1$

$\rho > 0 \Rightarrow \sigma < 1$.

Si

$\rho \rightarrow -1 \Rightarrow \sigma \rightarrow \infty \Rightarrow$ La función E.S.C. se aproxima a la función de Producción Lineal.

$\rho \rightarrow 0 \Rightarrow \sigma \rightarrow 1 \Rightarrow$ La función de Producción E.S.C. se aproxima a la función de Producción de Cobb-Douglas.

$\rho \rightarrow \infty \Rightarrow \sigma \rightarrow 0 \Rightarrow$ La función de Producción E.S.C. se aproxima a la función de Producción Insumo-Producto.

Por otro lado si se supone una conducta de máxima utilidad,

$$S = \frac{Q_L}{Q_K} = \frac{w}{r} = \frac{\delta}{1-\delta}\left(\frac{K}{L}\right)^{1+\rho} \Rightarrow \frac{wL}{rK} = \frac{\delta}{1-\delta}\cdot\left(\frac{K}{L}\right)^{\rho}$$

lo cual muestra que el cociente del rendimiento del trabajo entre el rendimiento del capital depende de δ, ρ y K/L. δ es el parámetro de distribución puesto que un incremento en δ produce un aumento en el rendimiento del trabajo relativo al capital.

Recientemente se ha desarrollado una función de producción con elasticidad de sustitución variable (E.S.V.), pero a la fecha muchas de sus propiedades no han sido totalmente exploradas, y esto le quita ventaja desde el punto de vista práctico con respecto a la función de producción E.S.C.

2.3. Conceptualización y Medidas del Cambio Tecnológico.

Como se ha considerado, el estudio del cambio tecnológico se puede dividir en cuatro niveles:

1) La conceptualización del cambio tecnológico, cambio técnico exógeno-neutral-incorporado-desincorporado y algunas definiciones generales.

2) La herramienta analítica, primordialmente son todas las funciones de producción(Insumo-Producto,Cobb-Douglas, E.S.C., E.S.V.)

3) Las medidas del cambio tecnológico, expresadas a través de índices de productividad (total de los factores, de un factor específico y el cociente de la mejor práctica y la práctica promedio)

4) El nivel de la cobertura del estudio, si es aplicable a nivel de empresa, industria o nación.

De esta última parte se hablará en el siguiente capítulo. En esta sección se analizará la conceptualización y medidas del cambio técnico.

2.3.1. Conceptualización del Cambio Tecnológico.

El cambio tecnológico se puede definir en forma directa o indirecta en términos de sus efectos sobre la productividad de los insumos. Mansfield(25,1971,pp. 10-11) aportó la siguiente definición directa:

> El cambio tecnológico es el avance de la tecnología, tal avance frecuentemente toma la forma de nuevos métodos de producción de artículos ya existentes, nuevos diseños lo cual habilita la producción de productos con nuevas características importantes, y nuevas técnicas de organización, mercadotecnia y administración.

Schumpeter(35,1979, pp. 13-38) definió el cambio técnico como sinónimo de innovaciones; como se señaló en la subsección (2.1.2.) consideró a las innovaciones en términos de sus efectos sobre los requerimientos de los insumos:

> Definimos a la innovación más rigurosamente a través de la función de producción: esta función describe la forma en la cual la cantidad de productos varía si las cantidades de los factores varían. Si en lugar de la cantidad de los factores, variamos la forma de la función, tenemos una innovación.

Solow(43,1957,p.312) empleó también una definición indirecta del cambio técnológico:

"Estoy usando la frase 'cambio técnico' para expresar cualquier clase de cambio en la función de producción".

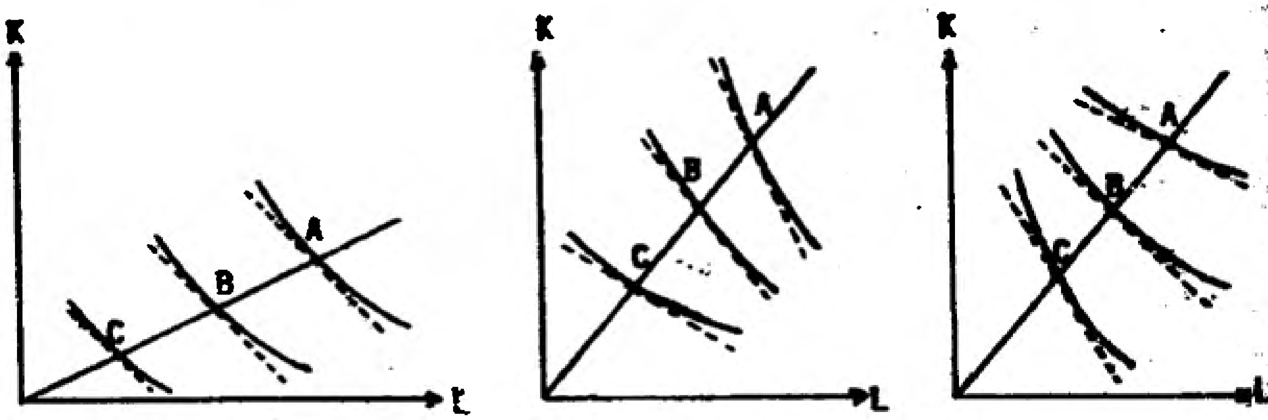
Hicks(17,1973), Salter(38,1966), Mansfield(25,1971) y otros han empleado el concepto de isocuantas para ilustrar los efectos del cambio técnológico sobre los requerimientos de los factores. El análisis convencional, supone que el efecto inicial de un proceso de innovación es cambiar las isocuantas unitarias más cercanas del orígen.

En este contexto surge la idea del cambio tecnológico; es decir el concepto del cambio técnico depende de la influencia que tiene en la función de producción por medio de las relaciones entre las variables que intervienen, (K/L, Q/L, Q/K etc.) y los parámetros (α, β, w, r, w/r, σ, etc.).

Cuando se analizó la teoría neoclásica del cambio tecnológico se señaló que se consideraba como exógeno al sistema económico y neutral. Por "neutralidad" se quiere decir, que la neutralidad de los efectos del cambio tecnológico, es decir, las relaciones entre ciertas variables económicas son invariantes bajo el cambio tecnológico, según se estipula en Beckman y Sato(4,1969). De esta manera se podría postular que el proceso tecnológico ha afectado en forma predeterminada cualquier relación estipulada; por ejemplo, como ya se dijo, que se dejó una variable invariante y este postulado es el de neutralidad del cambio tecnológico. De esta manera podemos definir diferentes tipos de cambio tecnológico neutral dependiendo de las relaciones entre las variables que se consideren.

Progreso Tecnológico Neutral de Hicks. Es igual cuando la relación entre la tasa marginal de sustitución (w/r) y la proporción de los factores (K/L) no cambia. En otras palabras, para Hicks una innovación neutral sería aquella en que el producto marginal del trabajo aumenta en la misma proporción que el producto marginal del capital, dado un conjunto de proporciones de factores. Aquí dos tendencias se compensarán entre sí para lograr este resultado: la participación del capital tendería a decrecer con la acumulación de capital con respecto al trabajo, pe ro el incremento del precio relativo del trabajo generaría innovaciones "de un tipo particular" como lo señaló Hicks.

Cambio Tecnológico Neutral de Harrod.- Es en el que la relación entre el cociente capital/producto y la tasa de interés no cambia. En otras palabras, una innovación sería neutral si, dada una tasa de interés constante, la relación capital/producto permanece invariable. (Las definiciones de Hicks y Harrod coinciden en el caso de una función de producción macroeconómica de un solo bién de tipo Cobb-Douglas. Esto se demostrará en el siguiente capítulo).



(a) Neutral (b) Ahorrador de L. (c) Ahorrador de K

Fig (4). Tipos de Cambio Tecnológico.

Cambio Tecnológico Neutral de Solow.- Es cuando la relación entre el cociente producto por trabajador y la tasa de salarios es invariante.

Estos son los tres tipos de cambio tecnológicos neutrales - usados más comunmente en la construcción de modelos del capítulo III (ver figura 4a).

Cambio Tecnológico Ahorrador de Capital.- Se da cuando el - cambio tecnológico no es neutral, puede considerarse este caso: si el cambio tecnológico da por resultado una reducción porcen - tual más grande en el insumo de capital que en el trabajo. (fi - gura 4c). La tasa marginal de sustitución técnica aumenta cuando avanzamos de A a B y a C.

Cambio Tecnológico Ahorrador de Trabajo.- Se refiere cuando el cambio tecnológico resulta en una reducción porcentual más grande en el trabajo que en el capital. (figura 4b). Este cambio tecnológico ocurre cuando, en una razón capital-trabajo dada, el producto marginal aumenta en relación con el producto marginal del trabajo.

Cambio Tecnológico Exógeno-Neutral.- Puede considerarse como incorporado y desincorporado, así:

a) El cambio tecnológico incorporado al capital, presenta la hipótesis de que si nuevos conocimientos técnicos son incorporados en nuevos bienes de capital, adiciones más recientes al capital fijo deben ser ponderadas más fuertemente que las adiciones precedentes.

b) El cambio tecnológico desincorporado tiene que ver con la mejora de organización y métodos que aumentan la eficiencia del capital viejo y nuevo. Ejemplos de tales mejoras son los avances en la ingeniería industrial (estudio de tiempos y movimientos) y en la investigación de operaciones (programación lineal).

De estos dos tipos de cambio tecnológico se hablará en el capitulo III.

Por otro lado, una conceptualización importante acerca del cambio tecnológico es el denominado cambio tecnológico inducido, como se señaló en el sexto párrafo de la sección (b) en el primer capítulo. En el contexto de la teoría de la innovación inducida se desarrollará gran parte del capítulo IV; donde se analizará el ciclo tecnológico de Schmookler y su identificación con la definición del cambio tecnológico endógeno.

2.3.2. Las Medidas del Cambio Tecnológico.

La mayoría de los modelos presentados, describen los efectos del cambio tecnológico a través de los cambios en la productividad. De esta manera se usan los cambios en la productividad de los factores como medidas del cambio tecnológico. Existen tres medidas del cambio tecnológico más comunmente usadas:

1) El crecimiento de la productividad del trabajo.

2) El crecimiento de la productividad de los factores

3) El cociente de la productividad de la mejor práctica y la productividad de la práctica promedio.

El crecimiento de la productividad total de los factores está relacionado con cambios en las funciones de producción, que es equivalente a medir el crecimiento residual del producto no explicado por los aumento en el volumen de los insumos.

Como antecedente histórico, se puede decir que fué Valavanis el primero que usó el termino productividad utilizando la función de producción de Cobb-Douglas para la estimación del cambio tecnológico; siguieron: Walters, Tinbergen, Kendrick, Schmookler, quienes utilizaron la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores como medida del cambio técnico. Usando el producto por persona como variable dependiente, Solow (43, 1957) intentó explicar el cambio técnico usando una función de producción de Cobb-Douglas y el supuesto de un cambio técnico neutral. Salter (38,1966) sugirió el uso de la productividad de la mejor práctica entre la productividad de la práctica promedio para ilustrar las ganancias potenciales de una empresa cuando adopta un nuevo proceso.

2.3.2.1. Productividad Total de los Factores.

El nombre "productividad total de los factores", se le ha da do a una familia de cocientes que proponen medir cambios en la eficiencia o tecnología. Los dos miembros más prominentes de la familia son: el índice aritmético, comunmente asociado con el trabajo de Kendrick (23, 1963); y, el índice geométrico de Solow (43,1957).

<u>El Indice Aritmético</u>: Este índice supone que el cociente de productos sucesivos puede ser calculado multiplicando la suma de los cocientes (ponderados) de los insumos en años sucesivos ponderados por una variable apropiada (la tecnología). Los pesos seleccionados son los precios de los insumos para algún año base. Esto se muestra en la siguiente igualdad:

$$\frac{Q_{t+1}}{Q_t} = A\left[w_o\left(\frac{L_{t+1}}{L_t}\right) + r_o\left(\frac{K_{t+1}}{K_t}\right)\right] \qquad \ldots\ldots (19)$$

$$\frac{dA}{A} = \frac{Q_{t+1}/Q_t}{w_o\left(\frac{L_{t+1}}{L_t}\right) + r_o\left(\frac{K_{t+1}}{K_t}\right)} - 1 \qquad \ldots\ldots (20)$$

La tasa de eficiencia o avance en la tecnología está representada por la ecuación (20). Kendrick supone implícitamente una función de producción homogénea que cumplen la condición del teorema de Euler. Según Domar (10, 1961), este índice mide "correctamente" el cambio tecnológico solo si el cociente capital/trabajo y el cociente del precio de los factores permanecen constantes.

<u>El Indice Geométrico</u>: El índice de Solow, está basado sobre la suposición implícita de una función lineal homogénea con cambio tecnológico desincorporado y neutral; la fórmula resultante para la tasa del cambio tecnológico es:

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{q}}{q} - \frac{w_K(\dot{k})}{k} \qquad \ldots\ldots (21)$$

donde:

q : producto por unidad de trabajo (Q/L)

k : capital por horas-hombre (K/L)

w_K: elasticidad del producto con respecto al capital

$$w_K = 1 - w_L$$

La obtención de (21) es como sigue:
Se tiene,

$$Q = AF(K,L)$$

si diferenciamos totalmente la ecuación anterior respecto al tiempo y dividimos entre Q obtenemos:

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \frac{\dot{A}}{A} + A\cdot\frac{\partial F}{\partial K}\cdot\frac{\dot{K}}{Q} + A\cdot\frac{\partial F}{\partial L}\cdot\frac{\dot{L}}{Q} \qquad \ldots\ldots \quad (21.a)$$

si se define, $w_K = \dfrac{(\partial Q/\partial K)K}{Q}$: Participación Relativa del Capital

$w_L = \dfrac{(\partial Q/\partial L)L}{Q}$: Participación Relativa del Trabajo

y se sustituye en (21.a),

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \frac{\dot{A}}{A} + w_K\cdot\frac{\dot{K}}{K} + w_L\cdot\frac{\dot{L}}{L}$$

usando la notación de q, k y w_K: tenemos:

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{A}}{A} + w_K\cdot\frac{\dot{k}}{k}$$

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{q}}{q} - w_K\cdot\frac{\dot{k}}{k}$$ como en (21).

Nadiri (1970), ha mostrado que este índice y el índice de Kendrick ofrecen respuestas similares para cambios pequeños en — las cantidades de los insumos y productos, bajo el supuesto de equilibrio competitivo. En este contexto se desarrollarán algunos modelos que se presentan en el siguiente capítulo.

2.3.2.2. Productividades Parciales de los Factores.

Los índices de productividad más usados son:

1) Indice de Productividad del Capital, Q/K

2) Indice de Productividad del Trabajo, Q/L

El último es el que más se usa en la práctica.

Obviamente, los cambios en la productividad del trabajo son importantes, puesto que están íntimamente relacionados con los - cambios en el nivel de vida en un país. Un determinante de la tasa de crecimiento de la productividad es la tasa de cambio tecnológico. En una industria en particular o en la economía entera, una tasa rápida de cambio tecnológico puede producir -ceteris paribus- una alta tasa de crecimiento de la productividad del trabajo. Sin embargo, puesto que la tasa de cambio tecnológico no - es el único determinante de la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo, ésta es una medida incompleta -aunque frecuentemente usada- de la tasa del cambio tecnológico. Para efecto de presentar los modelos del cambio tecnológico, se usarán — los índices de productividad total, como una medida del cambio tecnológico, porque tiene la ventaja sobre la productividad del trabajo de tomar en cuenta los cambios sobre el tiempo de los — montos del capital.

2.3.3. El Cociente de la Productividad de la Mejor Práctica y la Productividad de la Práctica Promedio.

Salter sugirió esta medida del cambio tecnológico para ilus trar las ganancias potenciales de una empresa cuando adopta un nuevo proceso. La productividad del trabajo de la mejor práctica (el numerador del cociente), mide el producto por horas-hombre en las plantas más modernas (mas recientes), o sea relaciona las técnicas disponibles más recientes. La productividad de la práctica promedio denota el funcionamiento promedio de la industria a través de la productividad del trabajo convencional.

III. MODELOS DEL CAMBIO TECNOLOGICO.

Como se habrá observado en el capítulo anterior, la mayoría de los estudios sobre el cambio técnico y el crecimiento de la productividad recurren al marco teórico de la teoría neoclásica. Kennedy y Thirlwall han llegado a la conclusión de que existen dos enfoques en el estudio del progreso técnico:

1) Primer enfoque; éste enfoque está dirigido a estudiar los efectos de los cambios en la tecnología utilizada en la producción de bienes y servicios; en este enfoque destacan los análisis basados en la utilización de la función de producción y la contribución del factor "residual", el estudio de las variaciones en los índice de productividad, así como los estudios que consideran el cambio técnico como una consecuencia del proceso de acumulación de capital.

2) Segundo enfoque; en este grupo se encuentran los estudios sobre el análisis de los factores que afectan o condicionan el ritmo y orientación del cambio técnico; entre los factores que analizan destacan: el papel que juega la actividad de investigación y desarrollo experimental (IDE), en la introducción de nuevos procesos y productos, características de las empresas (tamaño, utilidades, tasa de crecimiento, el monto de las inversiones requeridas para la innovación), las características de los procesos y productos (precios relativos de los factores primarios de producción).

En este capítulo se mostrarán algunos modelos del cambio técnico que utilizan como base el primer enfoque para su formulación. Este enfoque tiene la característica de considerar en los modelos el cambio técnico como un parámetro que está determinado exógenamente, o sea, enteramente independiente de la acción del sistema económico.

En estos modelos se presentará la forma en que el progreso técnico afecta la función de producción. El análisis acostumbrado se centra en análizar y examinar los efectos del progreso téc nico sobre las relaciones entre algunas variables (o combinación de ellas) que son derivadas de la función de producción, tales como: proporción de los factores, productividades marginales, el cociente capital/producto, el producto por hombre (Q/L) y la tasa marginal de sustitución (S). Así, se podrá proponer que el progreso técnico puede afectar o no esta relaciones entre las variables; en particular, si se supone que las relaciones son invariantes bajo el efecto del cambio técnico se obtiene el famoso supuesto de la neutralidad técnica y existe un tipo específico de cambio técnico neutral para cada relación entre las variables: en este contexto surgen los modelos del cambio técnico neutral de Hicks, Harrod y Solow.

Por otro lado, se podrían considerar diferentes funciones de producción para cada tipo de neutralidad, pero aquí no se considerará. En este trabajo se usarán las funciones de Cobb-Douglas y la C.E.S, porque son las que más se aplican. En los modelos de Hicks, Harrod y Solow se supondrán funciones de producción de Cobb-Douglas.

El cambio técnico neutral se divide en cambio técnico "incorporado" y cambio técnico "desincorporado". La sección primera tratará el cambio técnico desincorporado; la segunda, el cambio técnico incorporado; y, la tercera, tratará el cambio técnico inducido.

3.1. Modelos del Cambio Técnico Exógeno-Neutral-Desincorporado.

3.1.1. Modelo de Hicks.

Hicks argumentó que en el cambio técnico no existe un sesgo inherentemente ahorrador de trabajo, sino que la elevación de los salarios motiva a las empresas a investigar innovaciones específicamente ahorradoras de trabajo, para compensar el alza de los costos del trabajo. Después generalizó, diciendo que los cambios en los precios de los factores (capital ó trabajo) inducen sesgos que tienden a ahorrar progresivamente los factores más caros.

La definición del cambio técnico de Hicks, se refiere a las innovaciones singulares y decisivas que desplazan por completo las antiguas técnicas. Esta misma definición la usaron la señora Robinson y Fellner para sus análisis.

Definiciones Hicksianas del sesgo en el Cambio Tecnológico:

a) Manteniendo constante el precio de los factores,

$$B_1 = \frac{\partial (K/L)}{\partial t} \cdot \frac{1}{K/L} \gtreqless 0 \longrightarrow \begin{cases} \text{Ahorrador de Trabajo} \\ \text{Neutral} \\ \text{Ahorrador de Capital} \end{cases} \qquad (1)$$

El sesgo mide el cambio proporcional en el cociente capital-trabajo debido al cambio técnico.

b) Manteniendo Constante el cociente de los factores:

$$B_2 = \frac{\partial (Q_K/Q_L)}{\partial t} \cdot \frac{1}{Q_K/Q_L} \gtreqless 0 \longrightarrow \begin{cases} \text{Ahorrador de Trabajo} \\ \text{Neutral} \\ \text{Ahorrador de Capital} \end{cases} \qquad (2)$$

Q_K y Q_K son los productos marginales. El sesgo mide la tasa proporcional de cambio en la tasa marginal de sustitución con el cociente K/L constante.

A nivel microeconómico es más útil usar la definición de mantener el precio de los factores constantes, porque los precios son dados a la empresa y porque esta suposición se visualiza más fácilmente. A nivel macroeconómico, donde la dotación de los recursos se supone con frecuencia que son dados exógenamente, la suposición de mantener los precios de los factores constantes frecuentemente es más útil.

En el desarrollo de la "teoría de los salarios", Hicks no determina la tasa de cambio tecnológico, sin embargo se tratará de desarrollar un modelo en base al papel presentado por Ferguson (12, 1968) en el cual se considera una tasa de cambio técni co y ofrece un fundamento de comparación con el modelo de Harrod

Los supuestos del modelo son los que aporta la teoría Neoclá sica, i.e, una función de producción linealmente homogénea, los factores se pagan con su valor marginal, etc. Ver sección 2.2.

Considerando la función de producción

$$Q = F(K,L;\ t)$$

la tasa (R) y el sesgo de Hicks (B) del cambio técnico son definidos por:

$$R = \frac{K\cdot Q_{Kt} + L\cdot Q_{Lt}}{K\cdot Q_K + L\cdot Q_L} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

$$B = \frac{Q_{Kt}}{Q_K} - \frac{Q_{Lt}}{Q_L} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

De acuerdo con las definiciones de Hicks, el cambio técnico será ahorrador de trabajo, neutral, ó ahorrador de capital si $B \gtreqless 0$.

Usando las siguientes definiciones:

$$s = \frac{L\ Q_L}{Q}\text{: Participación Relativa del Trabajo.} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{Q_K\ Q_L}{Q\ Q_{KL}}\text{: Elasticidad de Sustitución.} \quad (6)$$

Hicks (17, 1973, pp.287-297)

Los cambios proporcionales en el tiempo de los productos marginales pueden ser expresados como funciones de la tasa y sesgo del cambio técnico.

$$\frac{Q_{Kt}}{Q_K} = R + sB \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

$$\frac{Q_{Lt}}{Q_L} = R - (1 - s)B \qquad \ldots . \qquad (8)$$

Para obtener (7) tenemos que si:

$$\frac{R}{Q_L} = \frac{K\ Q_{Kt}}{Q\ Q_L} + \frac{L\ Q_{Lt}}{Q\ Q_L} \qquad y \qquad \frac{LB}{Q} = \frac{L\ Q_{Kt}}{Q\ Q_K} - \frac{L\ Q_{Lt}}{Q\ Q_L}$$

y sumando

$$\frac{R}{Q_L} + \frac{LB}{Q} = \frac{K\ Q_K\ Q_{Kt} + LQ_L\ Q_{Kt}}{Q\ Q_K\ Q_L}$$

$$\Rightarrow Q_{Kt}(KQ_K + LQ_L) = Q\ Q_K\ R + L\ Q_K\ Q_L\ B$$

$$\Rightarrow \frac{Q_{Kt}}{Q_K} = R + sB \qquad \text{puesto que} \qquad Q = LQ_L + KQ_K$$

después de considerar (6). Para obtener la ecuación (8) se sigue el mismo procedimiento.

Las tasas de crecimiento de los productos marginales y del producto pueden ser expresados como funciones de la tasa y sesgo del cambio técnico, de la elasticidad de sustitución y de la tasa de cambio en el cociente capital/trabajo ($k = K/L$):

$$\frac{\dot{Q}_K}{Q_K} = R + sB - \frac{s}{\sigma}\frac{\dot{k}}{k} \qquad \ldots . \qquad (9)$$

$$\frac{\dot{Q}_L}{Q_L} = R - (1 - s)B + \frac{(1 - s)}{\sigma}\frac{\dot{k}}{k} \qquad \ldots . \qquad (10)$$

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = R + (1 - s)\frac{\dot{k}}{k} + \frac{\dot{L}}{L} \qquad \ldots . \qquad (11)$$

Para obtener (9), tenemos que la homogeneidad de Q implica,

$$-LQ_{LL} \equiv KQ_{LK}, \; - KQ_{KK} \equiv LQ_{KL} \quad \ldots\ldots \quad (12)$$

Nótese que,

$$\dot{Q}_K = Q_{Kt} + Q_{KK}\,\dot{K} + Q_{KL}\,\dot{L}$$

Así,

$$\frac{\dot{Q}_K}{Q_K} = \frac{Q_{Kt}}{Q_K} - \frac{LQ_{KL}}{Q_K}\cdot\left(\frac{\dot{k}}{k}\right) \quad \text{por (12)}$$

$$= \frac{Q_{Kt}}{Q_K} - \left(\frac{LQ_L}{Q}\right)\cdot\left(\frac{QQ_{LK}}{Q_L Q_K}\right)\left(\frac{\dot{k}}{k}\right)$$

$$= \frac{Q_{Kt}}{Q_K} - \left(\frac{s}{\sigma}\right)\left(\frac{\dot{k}}{k}\right) \quad \text{por (6)}$$

Sustituyendo la ecuación (7) en esta última expresión se tiene la ecuación (9). La ecuación (10) se obtiene en forma similar; para obtener la ecuación (11) nótese que:

$$\dot{Q} = Q_t' - Q_K\dot{K} - Q_L\dot{L}$$

Usando las ecuaciones (3) y (5) y k, inmediatamente se llega a la ecuación (11).

La expresión para la tasa de cambio en la participación relativa del capital (1-s):

$$\frac{(\dot{1-s})}{(1-s)} = s\left[3 + (1 - 1/\sigma)(\dot{k}/k)\right] \quad \ldots\ldots \quad (13)$$

De la ecuación (3) y la homogeneidad lineal, la participación del capital es:

$$(1-s) = \frac{KQ_K}{Q},$$

de aquí,

$$\frac{(\dot{1-s})}{(1-s)} = \frac{\dot{Q}_K}{Q_K} + \frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{Q}}{Q}$$

Sustituyendo las ecuaciones (9) y (11) en la última expre - sión, se obtiene (13). Algunas de las ecuaciones de (3) - (13) serán usadas para desarrollar el modelo de Harrod.

3.1.2. Modelo de Harrod

Según Harrod, el cambio técnico es neutral si la proporción capital/producto es constante con una tasa de interés constante. Con las contribuciones competitivas, la constancia de la tasa de interés implica que

$$\frac{\dot{Q}_K}{Q_K} = 0, \qquad \ldots\ldots \qquad (14)$$

sustituyendo la ecuación (9), la condición para una tasa de interés constante es:

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\sigma R}{s} + B \qquad \ldots\ldots \qquad (15)$$

Si la tasa de interés y el cociente capital/producto son - constantes, también lo es la participación relativa del capital. Esto implica que:

$$\frac{(\dot{1-s})}{(1-s)} = 0 \qquad (16)$$

Sustituyendo la ecuación (13) queda,

$$\frac{\dot{k}}{k} = -\frac{B}{(1-\frac{1}{\sigma})} - \quad \text{[illegible]} \qquad \ldots\ldots \qquad (17)$$

La neutralidad de Harrod ocurre cuando las ecuaciones (15) y (17) son iguales. Así la condición para la neutralidad de Ha - rrod es:

$$(1-\frac{1}{\sigma}) \quad + sB = 0 \qquad \ldots\ldots \qquad (18)$$

Suponiendo que el progreso técnico es neutral de Hicks — ($B = 0$). De la ecuación (18), por el concepto del cambio técnico de Harrod es ahorrador de trabajo, neutral, o ahorrador de Capital según como σ sea mayor que uno, igual a uno, o menor que uno. (suponiendo una tasa de cambio técnico de Hicks estrictamente positiva, $R > 0$).

Es obvio que la neutralidad de Hicks y Harrod es la misma - si, y solo si, $\sigma = 1$ (i.e; si y solo si la función de producción es Cobb-Douglas). Ver Uzawa(48,pp. 119-120), para su demostración.

Usando el concepto de Harrod del cambio técnico es ahorrador de trabajo (ahorrador de capital) si el cociente capital/producto aumenta (disminuye) a una tasa constante de interés. Ahora al cociente capital/producto aumenta si

$$\frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{Q}}{Q} > 0 \qquad \ldots\ldots \qquad (19)$$

Por la ecuación (11)

$$\frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{Q}}{Q} = s(\frac{\dot{k}}{k}) - R \qquad \ldots\ldots \qquad (20)$$

Si suponemos que $B = 0$ y sustituimos la ecuación (15) se obtiene,

$$\frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{Q}}{Q} = (\sigma - 1)R \gtrless 0 \quad \text{según si} \quad \sigma \gtrless 1 \qquad (21)$$

Si el cambio tecnológico neutral no es el de Hicks ($B \neq 0$), la dirección del progreso técnico según Harrod depende de la tasa de Hicks, del sesgo de Hicks, y de s y σ. Por ejemplo, si el cambio tecnológico según Hicks es ahorrador de trabajo y $\sigma>1$, el cambio tecnólógico es también ahorrador de trabajo según Harrod. Pero si $\sigma<1$, el cambio técnico podría ser neutral según Harrod o ahorrador de capital.

3.1.3. Modelo de Solow.

El modelo de Solow(43,1957), es uno de los más importantes y representativos del estudio del cambio técnico; fué publicado en 1957 y hasta la fecha es fundamental para los estudios en el presente, aunque existen algunas variaciones y extensiones. Como ya se señaló, Solow estimó el parámetro de eficiencia de la función de Cobb-Douglas desde 1909 a 1949, usando datos agregados para la economía de Estados Unidos; después calculó la tasa de crecimiento de dicho parámetro y lo llamó la tasa de crecimiento de la tecnología. El método consistió esencialmente en separar los incrementos del ingreso nacional provocados por los cambios en el trabajo y capital, y atribuir el sobrante o "residual" al cambio tecnológico.

La definición operativa del cambio tecnológico, se refiere a cualquier clase de desplazamiento de la función de producción. Involucra los retardos, las aceleraciones, los mejoramientos en la educación de la fuerza de trabajo, y todo lo demás; ver Solow (43,1957,p. 313). Los desplazamientos de la función de producción se definen como neutrales, cuando dejan intactas las tasas marginales de sustitución y solo aumentan o disminuyen la producción obtenible de insumos dados.

Supuestos del Modelo

a) Existe cambio técnico desincorporado.

b) Existen retornos constantes a escala (linealidad homo — génea).

c) El capital y el trabajo se pagan por sus productos marginales.

Base Teórica

Función de Producción: $Q = F(K, L; t)A(t)$ (22)

Q: Producción Nacional.

K: Capital

L: Mano de Obra.

t: Tiempo.

A(t): Eficiencia.

Diferenciando (22) con respecto al tiempo y dividiendo entre Q, tenemos,

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{A(\partial Q/\partial K)\dot{K}}{Q} + \frac{A(\partial Q/\partial L)\dot{L}}{Q} \qquad (23)$$

Participación Relativa del Capital, $\alpha = \frac{(\partial Q/\partial K)K}{Q}$ (24)

Participación Relativa del Trabajo $\beta = \frac{(\partial Q/\partial L)L}{Q}$ (25)

Sustituimos (24) y (25) en (23),

$$\frac{\dot{Q}}{Q} = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{\alpha\dot{K}}{K} + \frac{\beta\dot{L}}{L} \qquad (26)$$

Sean $Q/L = q$, $K/L = k$, $\beta = 1-\alpha$ (según el supuesto b)

Sustituyendo en (26),

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{A}}{A} + \alpha\left(\frac{\dot{k}}{k}\right) \Rightarrow \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{q}}{q} - \alpha\left(\frac{\dot{k}}{k}\right) \qquad (27)$$

Todo lo que se necesita para calcular A(t) son series de tiempo de la producción por unidad de mano de obra, de capital por horas hombre y de la participación del capital (α). Como se tienen datos anuales (27) se puede expresar como:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta q}{q} - \alpha\left(\frac{\Delta k}{k}\right) \qquad (28)$$

Si $A(t_0) = 1$, t_0 es tiempo inicial y puesto que

$$A(t+1) = A(t)\left[1 + \Delta A(t)/A(t)\right]$$

se puede construir sucesivamente la serie de tiempo A(t).

Conclusiones de Solow:

1. El cambio técnico durante el periodo 1909-1949 fue neutral en promedio.
2. El desplazamiento de la función de producción, aparte de las fluctuaciones, se realizó a una tasa aproximada del 1% anual durante la primera mitad del periodo y al 2% anual durante la última mitad.
3. El producto bruto por hora-hombre se duplicó en el intervalo: el 87.5% del aumento es atribuible al cambio técnico y el 12.5% restante al uso mayor de capital.
4. La función de producción agregada, corregida por el cambio técnico, deja una clara impresión de rendimientos decrecientes, pero la curvatura no es violenta.

3.1.4. Modelo del Cambio Técnico con Función de Elasticidad de Sustitución Constante (E.S.C.)

A principios de los 60'S, Arrow, Chenery, Minhas y Solow -- (2, 1961) propusieron una nueva clase de función de producción - que posee una gran flexibilidad.

Ellos plantearon el siguiente problema: si existen ciertas relaciones entre el salario y el producto por hora-hombre, ¿ qué clase de función de producción debe ser congruente con estas relaciones? Específicamente si:

$$\frac{Q}{L} = A^{*} W^{1/\beta} \tag{29}$$

$$\text{i.e, } \ln\left(\frac{Q}{L}\right) = \ln A^{*} + (1/\beta)\ln W = \ln a + b \cdot \ln W + E \tag{30}$$

y si postulamos que

$$Q = F(K, L)$$

¿Cuál es la especificación de la forma funcional de F?

En este contexto W, Q, K, y L denotan el salario, el producto, el capital y el trabajo respectivamente.

Para resolver el problema los autores hacen las siguientes suposiciones:

a) La unidad de producción caracterizada por Q se comporta como si existiera competencia perfecta en el mercado de productos y en el de factores (K y L).

b) La función F(K, L) es linealmente homogénea. En la sub - sección 2.2.4 se describieron sus propiedades matemáticas

c) Elasticidad constante de sustitución entre el capital y trabajo.

d) Posibilidad de diferentes elasticidades para industrias diferentes.

El análisis de regresión de la ecuación (30) ofrece la base para la derivación de la función de producción más general: el hecho de que una función logarítmica lineal suministra un buén ajuste (el coeficiente de determinación es "grande") a las observaciones de salarios y el cociente valor agregado/trabajo. Suponiendo que b en la segunda ecuación de (30) sea la elasticidad de sustitución entre el capital y el trabajo, interesaría probar las hipótesis de que b = 0 ó b = 1; sin embargo estas hipótesis son descripciones inadecuadas de las posibilidades de combinar el capital y el trabajo y es por eso que se precede a derivar una función de producción que permita una elasticidad diferente en cada industria, sobre todo menor que uno.

Suponiendo Homogeneidad Lineal,

$$Q = F(K, L) \Rightarrow Q/L = F(K/L, 1)$$

o sea, $q = f(k)$, $q = Q/L$ y $k = K/L$.

$r = f'(k)$: productividad marginal de K.

$$w = f(k) - k\, f'(k) \qquad (31)$$

esta relación se puede invertir para tener k en función de w y de aquí que $q = f(k)$ sea una relación creciente de w. Puesto que $q = \phi(w)$, de (31) se tiene:

$$q = \phi\left(q - k \cdot \frac{dq}{dk}\right) \qquad (32)$$

la cual es una función diferencial para q(k) que tiene solución

$q = f(k; A)$, A: constante de integración.

$Q/L = f(K/L;\ A)$

$$Q = L\ f(K/L;\ A). \qquad (33)$$

La ecuación (32) se convierte en

$$\log q = \log a + b \cdot \log \left[q - k\left(\frac{dq}{dk}\right)\right] \tag{34}$$

tomando antilogaritmos y resolviendo para dq/dk.

$$dq/dk = \frac{a^{1/b} - q^{1/b}}{a^{1/b}\, k} = \frac{q(1 - \alpha q^{\rho})}{k} \tag{35}$$

con $\alpha = a^{-1/b}$ y $\rho = (1/b) - 1$

despejando (35),

$$\frac{dk}{k} = \frac{(dq)}{q(1 - \alpha q^{\rho})}$$

fraccionando,

$$\frac{dk}{k} = \frac{(dq)}{q} + \frac{\alpha q^{\rho - 1}(dq)}{1 - \alpha q^{\rho}}$$

integrando,

$$\log k = \log q - \frac{1}{\rho} \log (1 - \alpha q^{\rho}) + \frac{1}{\rho} \log \beta$$

ó $$k^{\rho} = \frac{\beta q^{\rho}}{1 - \alpha q^{\rho}}$$

resolviendo para q^{ρ} y después para q tenemos,

$$q = k(\beta + \alpha k^{\rho})^{-1/\rho} = (\beta k^{-\rho} + \alpha)^{-1/\rho} \tag{36}$$

$$Q/L = \left[\beta (K/L)^{-\rho} + \alpha\right]^{-1/\rho}$$

$$Q = L\left[\beta(K/L)^{-\rho} + \alpha\right]^{-1/\rho}$$

$$\therefore \; Q = \left[\beta K^{-\rho} + \alpha L^{-\rho}\right]^{-1/\rho} \qquad (37)$$

Esta familia de funciones de producción comprende a todas - las familias que exhiban una elasticidad de sustitución constante ($\sigma = (1/1+\rho) = b$) para todos los valores de K/L. Por lo tanto a (36) se le llama función de producción con elasticidad de sustitución constante (abreviado E.S.C.) todas sus propiedades se - analizaroń en la subsección 2.2.4, donde se usó $\alpha+\beta = \gamma^{-\rho}$ y $\beta\gamma^{\rho} = \delta$ dando por resultado

$$Q = \gamma\left[\delta K^{-\rho} + (1-\delta)L^{-\rho}\right]^{-1/\rho} \qquad (37)$$

Un cambio en el parámetro γ cambia el producto para cual — quier conjunto de insumos en la misma proporción; por esta razón se le llama parámetro de eficiencia (neutral). El parámetro ρ es una transformación de la elasticidad de sustitución y se denomina como parámetro de sustitución. Para cualquier valor de - - — σ (ó de ρ), la distribución funcional del ingreso es determinado por δ, el parámetro de distribución.

•Estimación de γ.

Puede suceder que β no sea constante en todos los países — aunque α y ρ sean los mismos; esto equivale a decir que la eficiencia del uso del capital varía de país a país, pero no la eficiencia del uso del trabajo. γ varía de país a país mientras - δ y ρ permanecen constantes, puesto que las diferencias internacionales en la eficiencia afectan a K y L por igual; de aquí - que, $\beta/\alpha = \delta/(1-\delta)$ equivale a decir que β y α varían proporcionalmente.

De la definición de σ y su constancia y la equivalencia —

competitiva del cociente precio de los factores y tasas marginales de sustitución, se sigue que $w/r \propto (K/L)^{1+\rho} = (K/L)^{1/\sigma}$. Se tiene que,

$$\frac{w}{r} = \frac{(1-\delta)}{\delta} \cdot \left(\frac{K}{L}\right)^{1+\rho} \Rightarrow \tag{38}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\delta}{(1-\delta)} = \left(\frac{r}{w}\right)\left(\frac{K}{L}\right)^{1+\rho} \tag{39}$$

Si se tienen datos para diferentes países sobre r y K y con el estimador de ρ para una industria, y se comparan los valores de (39) pudiendo observar que son constantes, concluimos que existen variaciones neutrales de país a país, (se estará estimando δ simultáneamente); entonces, con δ y ρ se usa (36) para estimar γ en cada país involucrado para una industria particular.

Prueba de Hipótesis de la Neutralidad.

Un cambio técnico neutral es un cambio en la función de producción que deja invariante la tasa marginal de sustitución para cada cociente K/L.

Observando (37') y (38), el progreso técnico afecta solamente a γ . sin afectar a δ y ρ . De (38) se nota que:

$$\frac{wL}{rK} = \frac{(1-\delta)}{\delta} \left(\frac{K}{L}\right)^{\rho} \tag{40}$$

es independiente de γ . De aquí que si los cambios históricos en la función E.S.C. son neutrales, entonces (40) debe permanecer - en el tiempo y su validez suministra el instrumento de la prueba de hipótesis de la neutralidad.

Si se acepta la hipótesis de neutralidad, se pueden trazar los cambios de γ sobre el tiempo. De la ecuación (30)

$$\frac{Q}{L} = aw^{b}$$

y de las definiciones de α, σ, δ y τ, se puede obtener

$$\frac{wL}{Q} = (1/a)w^{1-b} = \alpha^{\sigma} w^{1-\sigma}$$

$$= (1-\delta)^{\sigma} \tau^{\sigma-1} w^{1-\sigma} \qquad (41)$$

$$= (1-\delta)^{\sigma} \cdot \left(\frac{w}{\tau}\right)^{1-\sigma}$$

Para valores dados de σ y δ, y usando (41) se puede calcular la trayectoria de τ. En forma alternativa, si suponemos una tasa geométrica constante del cambio tecnológico, así que considerando:

$$\tau(t) = \tau_0 (10)^{\lambda t}$$

se ajusta,

$$\log\left(\frac{wL}{Q}\right) = \left[\sigma \log(1-\delta) + (\sigma-1) \log \tau_0\right] + (1-\sigma) \log w + \lambda(\sigma-1)t \qquad (42)$$

para estimar σ y λ.

$$\log\left(\frac{wL}{Q}\right) = a_0 + a_1 \log w + a_2 \cdot t \qquad (43)$$

donde $a_0 = \sigma \log(1-\delta) + (\sigma-1)\log \tau_0$

$a_1 = 1-\sigma$; $a_2 = -\lambda(1-\sigma)$.

De la estimación de a_1 y a_2 se calcula λ y σ. La ecuación -(43) se colocó a los datos que utilizó Solow en su estudio y se encontró que $a_1 = 0.431$ y $a_2 = -0.003$: el correspondiente estima dor de σ fué de 0.569 y de λ = 0.008. Se obtiene una tasa anual de crecimiento de la productividad del 1.83% .

Conclusiones:

a) existe la evidencia de que en el sector manufacturero (en E.U.) σ es menor que la unidad.

b) El factor γ puede usarse como patrón de comparación en el comercio internacional.

c) En la función E.S.C. es posible que aumentos en los salarios sean compensados por el progreso tecnológico neutral en su efecto sobre las participaciones relativas.

3.2 Modelos del Cambio Técnico Neutral-Exógeno-Incorporado

En los modelos presentados en la subsección anterior, se debe hacer notar que no toman en cuenta la fuerte complementariedad que existe entre el cambio técnico y la inversión; tomar en consideración la inversión es muy importante pues suele ser el vehículo principal del progreso técnico. En un artículo de Solow (44,1962) se hace la distinción entre mejoras "organizacionales" que no requieren de capital nuevo y mejoras en "diseño" que si requieren una incorporación en equipo de capital nuevo, y, las nuevas adiciones de capital poseen mayor impacto que las adiciones precedentes, lo cual da como resultado un aumento de la sensibilidad de la tasa de crecimiento del producto a cambios en la tasa de crecimiento del capital. Se puede decir también que el producto aumenta debido a la calidad de los factores (incorporación).

3.2.1. Modelo de Nelson-Solow.

Solow (44,1962) sugirió que el modelo básico de Cobb-Douglas ecuación (22), no toma en cuenta la fuerte complementariedad entre el cambio técnico y la inversión. En su artículo, hace una distinción entre las mejoras "organizacionales" las cuales no requieren capital nuevo y las mejoras en "diseño" que si requieren nuevo capital, o sea, necesitan estar incorporadas en nuevo equipo de capital. En el modelo original presentado por Solow surgen problemas de estimación que Nelson supera.

El Modelo Original de Solow es:

$$Q_t = A'_t \, L_t^{b} \, J_t^{1-b} \tag{44}$$

A'_t: Es un índice de eficiencia económica, diferenciado del de la ecuación (22) por el hecho de que A(t) incluye cosas que estan incorporadas en J_t de la ecuación (44)

J_t : Número ponderado por la calidad de las máquinas dando más peso a las máquinas más nuevas que a las antiguas; de esta manera se refleja la tecnología más nueva, incorporada a las máquinas más recientes.

L_t : Fuerza de trabajo en el tiempo t.

Suponiendo que el avance de la tecnología permite que la calidad de las máquinas nuevas mejore a una tasa de λ_K% anual, J_t puede escribirse como:

$$J_t = \sum^{t} K_{vt}(1+\lambda_K)^{v} \tag{45}$$

K_{vt}: Es el monto del capital bruto integrado en el año v (o cosecha v) que se encuentra en uso en el instante t.

La tasa de crecimiento es:

$$\Delta Q/Q = \Delta A'/A' + b(\Delta L/L) + (1-b)(\Delta J/J) \tag{46}$$

Richard Attiyeh aproximó la ecuación (45) por

$$J_t \doteq B(1+\lambda_K)^t K_t \left[1+\lambda_K(\bar{a} - \bar{a}_t)\right] \tag{47}$$

donde B es una constante, $\bar{a}_t$ y $\bar{a}_o$ son las edades promedio del capital en los tiempos t y o respectivamente. Para valores chicos de λ_K y $\bar{a}_t$ no difiere mucho de a_o, i.e, $1+\lambda_K(\bar{a}_o - \bar{a}_t) \doteq 1$, entonces $\Delta J/J$ puede aproximarse por:

$$\Delta J/J \doteq \Delta K/K + \lambda_K - \lambda_K \Delta\bar{a}, \tag{48}$$

donde $\Delta\bar{a}$ es el cambio en la edad promedio del capital.

Los dos primeros términos de la ecuación (48) dan la tasa de crecimiento del activo fijo ajustado por la calidad cuando la distribución por edad del activo fijo no está cambiando a través del tiempo. El tercer término suministra un ajuste cuando la distribución por edad esta cambiando. Una distribución por edad dada, determina una diferencia dada entre la calidad promedio y - la calidad del nuevo capital.

Usando las ecuaciones (48) y (46):

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \left[\frac{\Delta A'}{A'} + (1-b)\lambda_K - (1-b)\lambda_K \Delta\bar{a}\right] + b\frac{\Delta L}{L} + (1-b)\frac{\Delta K}{K} \tag{49}$$

Si la edad promedio del capital no cambia, $\Delta A'/A' + (1-b)\lambda_K$ es la tasa de crecimiento de la productividad total de los facto res, o sea, $\Delta A/A$ en el modelo de Solow, ecuación (28); $(1-b)\lambda_K$ es la parte que necesita estar incorporada en capital nuevo, y $\Delta A'/A'$ es la parte que no. Si $\bar{a}$ cambia, estos cambios reflejan los cambios en la diferencia entre la tecnología promedio en uso y la mejor tecnología disponible. Dado $\Delta A'/A'$ y λ_K, la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores será más alta si la edad promedio del capital esta disminuyendo que si se mantiene constante ó esta creciendo.

Suponiendo depreciación exponencial (exclusivo de la obsolesencia) a una tasa anual Υ, los cambios en la edad promedio del capital pueden aproximarse por la siguiente expresión:

$$\Delta\bar{a} = 1- (\Delta K/K + \Upsilon)(\bar{a}_{t-1}) \qquad (50)$$

donde $(\Delta K/K+\Upsilon)$ es la tasa de formación de capital bruto. Si la formación de capital bruto es cero, al final de un año todo el capital viejo será un año más antiguo, y no existirá capital nuevo, así $\Delta\bar{a} = 1$. Al final de un año $(\Delta K/K + \Upsilon)$ es el cociente del capital nuevo al capital total. Así, un aumento en la tasa de crecimiento del capital tendería a aumentar la tasa de reducción de la edad promedio del capital (o reducir la tasa de aumento) ó, en otras palabras, a mediano plazo, la "incorporación" elevará la sensibilidad de la tasa de crecimiento con la tasa de crecimiento del capital. Lo que el modelo simple de Solow olvida es que el efecto del crecimiento del capital sobre el crecimiento del producto es determinado no solamente por (1-b), sino también por la tasa a la cual ocurren las "mejoras en diseño" y el espacio entre la mejor práctica y la práctica promedio. Dicho de otra forma, la inversión nueva no solo lleva a "más" capital -la magnitud del efecto determinado por (1-b)- sino que lleva a capital "más productivo" -la magnitud del efecto determinado por λ_K y $\bar{a}_t$.

Sustituyendo la ecuación (50) en la (49):

$$\Delta Q/Q = \Delta A^*/A^* + (1-b)\lambda_K \bar{a}_{t-1} + b\Delta L/L + (1-b)(1+\lambda_K \bar{a}_{t-1})\Delta K/K \quad (51)$$

Zui Griliches ha sugerido que uno de los objetivos de la teoría del crecimiento es el reducir el residual no explicado (la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores); una de las formas que trató para hacer esto es el considerar explícitamente mejoras en la calidad del capital. Su trabajo está presentado en Rosenberg(35,1979;pp.355-380)

3.2.2. Modelo de Denison.

Edward Denison, siguiendo a Theodore Schultz, ha prestado atención a las mejoras en la calidad del trabajo(35,1979;pp.337-354). El modelo de Denison puede ser visto como la introducción de la variable "calidad promedio del trabajo" en el modelo de Solow-Nelson. Así,

$$Q_t = A^*_t(L_t\, q_t)^b\, J_t^{1-b} \quad (52)$$

$$Q_t = A^*_t T_t^b J_t^{1-b} \quad (52a)$$

Las mejoras en la calidad del capital están incluidas en J como en Solow-Nelson, las mejoras en la calidad de la fuerza de trabajo estan incluidas $T_t = L_t\, q_t$.

Definiendo $\lambda_L = \Delta q/q$ tal que $\Delta T/T = \Delta L/L + \lambda_L$, la ecuación básica del crecimiento se escribe como sigue:

$$\Delta Q/Q = \left[\Delta A^*/A^* + b\lambda_L + (1-b)\lambda_K - (1-b)\lambda_K \Delta\bar{a}\right] + b\Delta L/L + (1-b)\Delta K/K \quad (53)$$

En esta ecuación $\left[\Delta A^*/A^* + b\lambda_L + (1-b)\lambda_K + (1-b)\lambda_K \Delta\bar{a}\right]$ es la tasa de crecimiento de la productividad total, $\Delta A/A$ de la ecuación (28). λ_L es la tasa de mejora en la calidad promedio de la fuerza de trabajo. $\Delta A^*/A^*$ representa las mejoras no directamente "incorporadas" ya sea en capital o en trabajo (por ejemplo, mejoras en la asignación de recursos y mejores prácticas administrativas). A las mejoras que no requieren directamente que se incorporen en el capital o el trabajo se les denomina mejoras "organizacionales".

Las mejoras en los patrones básicos de la educación, que afectan principalmente las nuevas entradas a la fuerza de trabajo podrían ser tratadas como λ_K, en el modelo de Solow-Nelson en tal caso habría un término equivalente para los cambios en la edad promedio de la fuerza de trabajo en la ecuación de crecimiento (53). Por eso el término $b\lambda_L$ ha sido agregado en la ecuación básica de crecimiento donde λ_L es la tasa de mejora de la calidad del trabajo. Denison relaciona las mejoras en la calidad del trabajo con tres variables:

λ_L^E : Es la mejora en la calidad del trabajo debido al logro educacional.

λ_L^C : Es la tasa de mejora en la composición de la fuerza de trabajo por edad y sexo.

λ_L^H : Es la tasa de mejora en el promedio de la calidad del trabajo debido a la disminución en las horas de trabajo.

Denison resume los resultados de su trabajo para el período 1929-1957, diciendo que hay cinco fuentes que contribuyeron una cantidad igual al 101% de la tasa de crecimiento, de un total del 109% aportado por todas las fuentes que hacen una contribución positiva. Tales fuentes fueron: el aumento del empleo (34%) el aumento de la educación (23%), el aumento del insumo de capital (15%) el avance de los conocimientos (20%) y economías de escala asociadas con el crecimiento del mercado nacional (9%). La disminución de la jornada de trabajo representó el -7% de la "contribución" total del -9% a la tasa de crecimiento aportada por las fuentes adversas al crecimiento, y las mayores restricciones al uso óptimo de los recursos aportarón el resto. En Rosenberg(35,1979;pp.337-354) se reportan los resultados y su análisis e interpretación, pero no se desarrolla el modelo matemático.

3.2.3. Modelo de Intriligator del Cambio Tecnológico incorporado-Desincorporado.

Intriligator(18,1965) desarrolla su modelo del cambio tecnológico en dos direcciones:

Primero: El cambio tecnológico incorporado y el desincorporado son estimados conjuntamente.

Segundo: Se considera el cambio tecnológico incorporado en la mejora de la calidad del trabajo y en la mejora de la calidad del capital.

Suponiendo una función de producción del tipo de Cobb-Douglas con retornos constantes a escala, que relaciona el producto potencial P(t), al capital efectivo J(t) y al trabajo efectivo M(t):

$$P(t) = Ae^{ut} \; J(t)^{\alpha} \; M(t)^{1-\alpha} \qquad (54)$$

donde u es el cambio técnico desincorporado y J y M son el capital y el trabajo ponderados por el cambio en la calidad (cambio técnico incorporado). Se consideran los factores cíclicos relacionando el producto actual G(t) al producto potencial P(t), y la tasa de desemp[illegible] medida del ciclo es la tasa de desempleo u, definida como la desviación porcentual del empleo ac tual con respecto al pleno empleo. La relación del producto actual con el producto potencial es tomada de Solow(44,1962):

$$Q(t) = \exp(b + cu + du^2)\, P(t) \tag{55}$$

$$Q(t) = \exp(b + cu + du^2) A e^{ut}\, J(t)^{\alpha} M(t)^{1-\alpha} \tag{55a}$$

(55a) implica que:

$$\log(Q/M) = a + cu + du^2 + \alpha \log(J/M) + ut \tag{56}$$

$$a = b + \log A.$$

El método de estimación es similar al usado por Solow en 1962, i.e; comparar los parámetros implicados y los coeficientes de correlación de las funciones de producción (cálculos basados en la ecuación (56) estimados con y sin la tendencia del tiempo — (ut) para medir la importancia del cambio técnico incorporado y desincorporado para alternativas series basadas sobre varios niveles asumidos de progreso técnico incorporado en el capital y el trabajo.

Usando el criterio de la bondad de ajuste un R^2 más grande (coeficiente de determinación), errores standars de los coeficientes chicos y una estadística de Durbin-Watson, la mejor estimación de la función de producción es la que utiliza como información para su estimación el trabajo sin ponderar su calidad, y el capital ponderado con el 4% anual de mejora en la calidad (o sea, al cambio tecnológico incorporado a una tasa del 4% — anual):

$$\text{Log}(Q/M) =$$
$$= -0.0784 - 0.6054u - 1.304u^2 + 0.0167t + 0.1383\,\text{Ln}(J_{.04}/M)$$
$$(.0119)\quad (.0713)\quad (.1100)\quad (.0026)\quad (.0439)$$

$$R^2 = 0.9964; \qquad \delta^2/S^2 = 2.159 \qquad S = 0.0240$$

Usando el método de Solow (1962) para separar $a = b + LnA$, o sea $f(u) = \exp(b + cu + du^2)$

Si $f(0.04) = 1 \Rightarrow b + cu + du^2 = 0$, $b + c(0.04) + d(0.04) = 0$

$\Rightarrow b = 0.0263$, $LnA = a-b = -0.0784-0.0263 = -0.1047$,

$A = 0.9001.$

$Q = 0.9001 \exp(0.0263-0.6054u-1.304u^2+0.0167t)\ J^{0.1383}\ H^{0.8617}$

Así, el cambio tecnológico desincorporado se estima en 1.67% anual, y el progreso tecnológico incorporado en 4% anualmente, y la elasticidad del producto con respecto al capital en 0.1383.

3.3 Modelos del Cambio Tecnológico Inducido.

Hasta aquí se ha supuesto que el cambio tecnológico es autónomo, neutral y creciente a una tasa constante. Como lo ha estipulado Urquidi(47,1979), es un error suponer que el nivel del conocimiento técnico está exógenamente determinado (como alguien puede pensar, dado por la gracia divina) fuera del sistema económico, sino que esta determinado por las fuerzas que se encuentran dentro del sistema económico y que estan interactuando como: el precio de los factores, gastos en IDE, estructura del mercado, etc. O sea el cambio en la posición de la función de producción a través del tiempo, no se debe únicamente al "movimiento natural".

Todos los modelos del cambio tecnológico inducido se centran exclusivamente en las innovaciones de procesos que reducen los requerimientos de recursos para la producción de bienes existentes.

Analizando el origen de este enfoque (ver sección 2.3.1.), fué Hicks el primero en considerar el efecto de los precios relativos de los factores sobre la dirección y tasa del cambio técnico, esto fué por los años 30'S. Salter(38,1966;pp.13-44) -

rechazó por completo la concepción Hicksiana, llegando a estipular que la teoría de los sesgos inducidos debe rechazarse. Pasan cerca de 20 años, y mucha gente que trabaja en esta área no está completamente segura si Salter estaba en lo correcto después de todo.

En esta sección se analizarán los modelos más representativos de la teoría del cambio técnico inducido.

3.3.1. Modelo de Hicks-Ahmad del Cambio Técnico Inducido.

En un intento por estudiar el impacto del progreso técnico sobre la producción, se contempla la introducción explícita del proceso inventivo a través del empleo de la función de "posibilidad innovativa" ó "curva de posibilidad innovativa" (CPI). La CPI, denota el efecto de la investigación sobre la productividad del capital y del trabajo, es considerada un factor multiplicador (y por lo tanto neutro) en el incremento de la productividad.

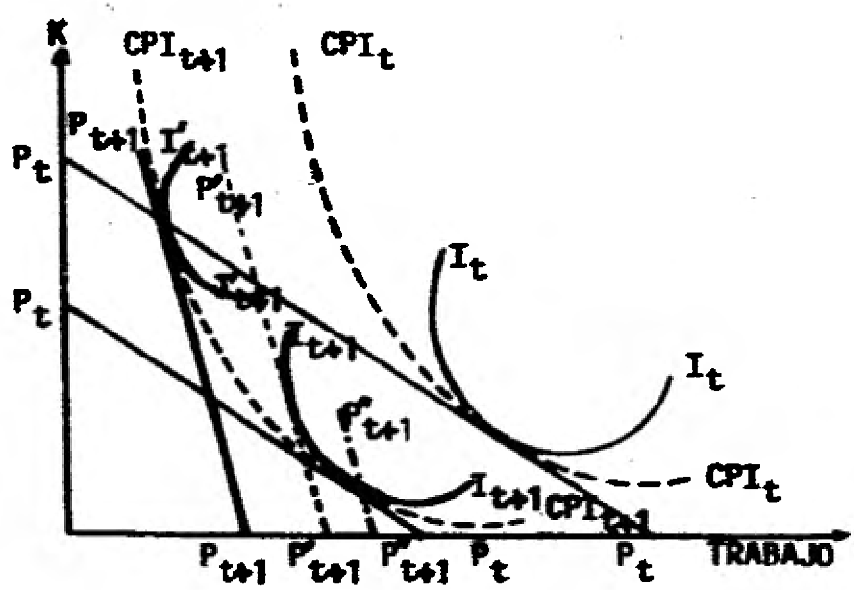


Fig (5): Modelo de Innovación Inducida de Hicks-Ahmad

La CPI se define como sigue: en un tiempo t existe un conjunto de procesos de producción potencial, determinado por el estado de la ciencias básicas.

Cada proceso en el conjunto se caracteriza por una isocuanta con elasticidad de sustitución relativamente pequeña. La CPI es la envolvente de todas las isocuantas unitarias del subconjunto de aquellos procesos potenciales que la empresa puede desarrollar con un monto de IDE dado exógenamente.

La explicación del modelo se hace a través de la gráfica(5):

En el tiempo t se desarrolló el proceso I_t y le corresponde una CPI = CPI_t. I_t es el proceso que minimiza los costos dado el precio relativo de los factores con la linea P_tP_t. Una vez que se desarrolló I_t, el resto de su CPI se vuelve irrelevante porque para el periodo t+1, la CPI ha cambiado hacia abajo hasta CPI_{t+1}. Si permanece igual el precio de los factores, la empresa desarrollará el proceso I_{t+1} para el próximo periodo. La CPI puede cambiar en forma neutral (insesgadamente) o no-neutral (sesgadamente) aún a precios de los factores constante. Sin embargo, si el precio de los factores cambia a $P_{t+1}P_{t+1}$, no es muy óptimo desarrollar el proceso I_{t+1} sino que el óptimo sería el proceso I'_{t+1}. En la gfafica, $P_{t+1}P_{t+1}$ corresponde a una elevación en los precios relativos del trabajo; si la CPI ha cambiado neutralmente, I'_{t+1} será relativamente ahorrador de trabajo en comparación con I_t.

Es posible demostrar cómo los factores económicos se vuelven poco importantes cuando el conocimiento limitado de las ciencias básicas impone fuertes restricciones sobre el grado de selección de tecnología. En este modelo de Hicks-Ahmad, no se considera la determinación de la tasa de cambio tecnológico.

3.3.2. Modelo de Kennedy de la Frontera de Posibilidad Innovativa.

Este modelo toma en cuenta la importancia relativa de los factores y sus precios. Su cuestionamiento esencial es sobre qué factores determinan la dirección del sesgo en las técnicas nuevas.

Supone que la tecnología es aumentadora de factores en forma pura, i.e; cada insumo es "más insumo" después de que ha ocurrido el cambio técnico que antes de que ocurra. La función de producción en la forma de aumentadora de factores es:

$$Q = F\left[(K/a),(L/b)\right] \tag{57}$$

donde a y b son los coeficientes de aumento, una disminución en a tiene el mismo efecto sobre el producto que un aumento equiproporcional que K habría tenido antes de la disminución de a. La idea básica del modelo puede ser explicado como sigue:

Sean $a' = -d\ln a/dt$ y $b' = -d\ln b/dt$ las reducciones proporcionales en los requerimientos por unidad de producto de K y L, respectivamente, debidas a la nueva tecnología. El cambio técnico se mide por la reducción de los costos unitarios relativos de los factores debido a nuevas técnicas.

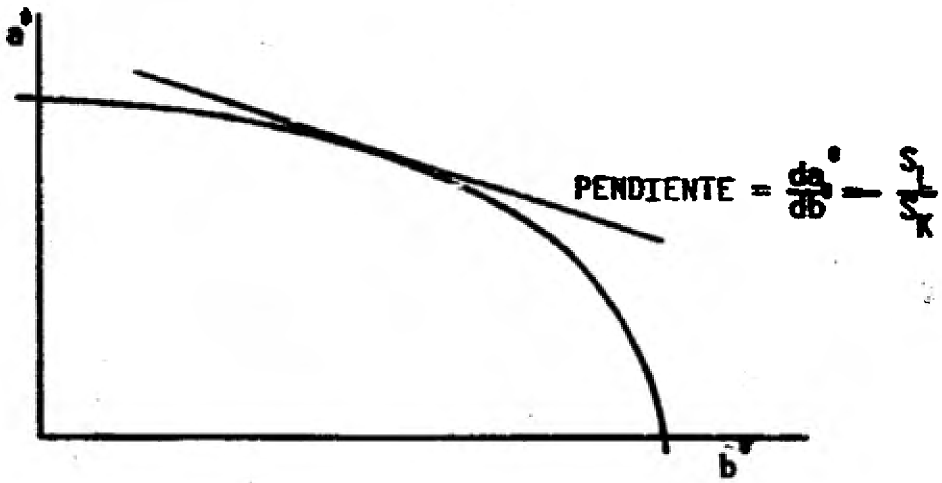


Fig (6): Frontera de Posibilidad de Innovación de Kennedy

La frontera de posibilidad innovativa (FPI) en la figura anterior es una función de transformación tecnológica definida por la función $W(a', b') = 0$ con las propiedades $da'/db' < 0$ y $d^2a'/d(b')^2 < 0$ que determinan su forma.

La función de producción es de primer grado. Los costos unitarios son $U = KR + LW$, donde W es la tasa de salarios y R es la tasa de interés. La tasa de reducción proporcional instantánea de los costos unitarios, se expresa así:

$$dLnU/dt = \frac{\dot{U}}{U} = -S_K a' - S_L b' + \text{términos involucrando cambios en los precios.} \quad (58)$$

donde S_K y S_L son la participación de los factores K y L respectivamente.
Así la selección de la técnica depende de las variables económicas S_K y S_L, y consideraciones tecnológicas a' y b'. Los supuestos utilizados son:

1. Los precios de los factores estan dados.
2. El presupuesto para IDE de nuevas técnicas esta dado exógenamente.
3. $a' = h(b')$.

El problema se reduce a maximizar la tasa instantánea de reducción de costos (ecuación 58) sujeta a $H(a'; b') = 0$; esto es equivalente a:

$$\min dlnU/dt = -S_K a' - S_L b' + \lambda(a'-h(b')) \quad (59)$$

La solución es completamente análoga a la solución de un sistema similar de minimización del costo sujeto a un producto dado, donde S_K y S_L ahora tienen el mismo rel del precio de los factores. De aquí que la tasa de reducción de costos es minimizada al punto donde: (Samuelson 39, 1965; p.344)

$$da'/db' = -\frac{S_L}{S_K} \quad (60)$$

Los sesgos pueden ser expresados en términos de la función de producción (57) como:

$$B_3 = (1-\sigma)(a'-b'), \quad (61)$$

Esta ecuación muestra el hecho importante de que relativamente, el cambio técnico aumentador de trabajo no necesita ser ahorrador de trabajo. Existen tres casos:

(1) $\sigma = 1$, el cambio técnico siempre es neutral.

(2) $\sigma < 1$, el cambio técnico es ahorrador de trabajo si $b' > a'$; es ahorrador de capital si $b' < a'$.

(3) $\sigma > 1$, el cambio técnico es ahorrador de trabajo si $b' < a'$; es ahorrador de capital si $b' > a'$.

De aquí que, por (61), la más grande b' estará en relación con a', o el grado en el cual el cambio técnico será aumentador de trabajo, el cambio será ahorrador de trabajo si, además, $\sigma < 1$.

Esta es la solución estática-comparativa del modelo. Esta solución explica por qué, cuando un cociente capital/trabajo en una economía se eleva en respuesta a influencias exógenas, ciertas fuerzas deben ser puestas en movimiento para mantener la estabilidad.

3.3.3. Modelos del Cambio Técnico Inducido con Funciones E.S.C.

En estos modelos se supone que la innovación es inducida por los cambios en los precios relativos de los factores que reflejan cambios en la escasez relativa de los insumos. Los supuestos fuertes son los que utiliza la teoría neoclásica de la producción y las propiedades satisfacen las de la sección 2.2.4. Se usarán funciones de producción aumentadoras de factor con coeficientes de aumento separados para el capital y el trabajo, de la forma siguiente:

$$Q = F(K,L;t) = \left[\alpha(K_t\, e^{\delta t})^{-\rho} + \beta(L_t e^{\lambda t})^{-\rho}\right]^{-1/\rho} \tag{62}$$

α y β son los parámetros de distribución, δ y λ son las tasas de aumento de factores, y ρ es el parámetro de sustitución. En (62), las tasas de aumento de los factores se suponen fijas sobre el —

tiempo y el modelo no identifica los orígenes del crecimiento de la eficiencia. En este enfoque, no podemos saber si un cambio técnico es inducido o autónomo, porque la fuente de innovación no está especificada. Para compensar lo anterior, la ecuación (62) puede mejorarse por el postulado de que la innovación es inducida por los cambios en los precios relativos de los factores que reflejan cambios en la escaces relativa de los factores. La función de producción puede escribirse como:

$$Q = \left[\alpha(K_t e^{\delta I_t})^{-\rho} + \beta(L_t e^{\lambda I_t})^{-\rho}\right]^{-1/\rho} \qquad (63)$$

donde I_t representa un índice de precios relativos de los factores capital y trabajo. En la ecuación (63) se supone que el aumento de factores es inducido por cambios en I_t.

En las ecuaciones (62) y (63) se puede observar que si los coeficientes de aumento de factores son iguales y diferentes de cero, el cambio técnico es neutral (si $\delta = \lambda \Rightarrow$ el cambio técnico es neutral); si $\delta \neq \lambda$ implica que el cambio técnico no es neutral en carácter.

Para hacer la ecuación (63) operable, se necesita definir el índice de precios relativos de los factores como:

$$I_t = \frac{(\frac{w}{r})_t}{(\frac{w}{r})_{t_0}} \quad \ldots\ldots \quad (64)$$

donde $(w/r)_t$ representa los precios relativos del trabajo y capital en el año t y t_0 es el año base.

Por la suposición de que los factores se pagan según sus productividades marginales,

$$r_t = \left(\frac{\partial Q}{\partial K}\right)_t = \alpha\left(\frac{Q}{K}\right)_t^{1+\rho} \cdot e^{-\delta\rho I_t} \qquad y, \tag{65}$$

$$w_t = \left(\frac{\partial Q}{\partial K}\right)_t = \beta\left(\frac{Q}{L}\right)_t^{1+\rho} \cdot e^{-\lambda\rho I_t} \tag{66}$$

dividiendo (66) entre (65),

$$\left(\frac{w}{r}\right)_t = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{K}{L}\right)_t^{1+\rho} \cdot e^{(\delta-\lambda)\rho I_t} \tag{67}$$

tomando logaritmos y rearreglando términos,

$$\text{Ln}\left(\frac{K}{L}\right) = -\frac{1}{1+\rho}\,\text{Ln}\,\frac{\beta}{\alpha} + \frac{1}{1+\rho}\,\text{Ln}\left(\frac{w}{r}\right)_t + \frac{(\lambda-\delta)\rho}{1+\rho} \cdot I_t \tag{67a}$$

De la ecuación anterior podemos obtener la elasticidad de sustitución de los factores σ_t:

$$\sigma_t = \frac{d\text{Ln}(K/L)_t}{d\text{Ln}(w/r)_t} = \frac{1}{1+\rho} + \frac{(\lambda-\delta)\rho}{1+\rho} I_t = \frac{1}{1+\rho}\left[1+(\lambda-\delta)\rho I_t\right] \tag{68}$$

Suponiendo que $(\lambda - \delta) \neq 0$ y $\rho \neq 0$, σ cambia si I_t cambia.

Si I_t se toma como dado exógenamente, entonces $\sigma_t = 1/(1+\rho)$.

<u>Método de Estimación de la Ecuación (63)</u>

La estimación de los parámetros desconocidos en (63) se obtiene transformando las ecuaciones (65) y (66) en forma logarítmica como sigue:

$$Ln(\frac{Q}{K})_t = -\frac{1}{1+\rho}\ Ln\,\alpha + \frac{1}{1+\rho}\ Ln\ r_t + \frac{\delta\rho}{1+\rho}\ I_t, \quad y \tag{65a}$$

$$Ln(\frac{Q}{L})_t = -\frac{1}{1+\rho}\ Ln\,\beta + \frac{1}{1+\rho}\ Ln\ w_t + \frac{\lambda\rho}{1+\rho}\ I_t \tag{66a}$$

La ecuación de regresión será:

$$\underset{\sim}{Q} = \underset{\sim}{X}\underset{\sim}{b} + \underset{\sim}{e} \tag{69}$$

donde:

$$\underset{\sim}{Q} = \begin{bmatrix} Ln(Q/K)_{t_o} \\ \vdots \\ Ln(Q/K)_{t_n} \\ Ln(Q/L)_{t_o} \\ \vdots \\ Ln(Q/L)_{t_n} \end{bmatrix} \qquad \underset{\sim}{X} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Ln\ r_{t_o} & I_{t_o} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & Ln\ r_{t_n} & I_{t_n} & 0 \\ 0 & 1 & Ln\ w_{t_o} & 0 & I_{t_o} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 1 & Ln\ w_{t_n} & 0 & I_{t_n} \end{bmatrix}$$

$$b' = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) = \left(-\frac{1}{1+\rho}\ Ln\,\alpha, -\frac{1}{1+\rho} Ln\,\beta, \frac{1}{1+\rho}, \frac{\delta\rho}{1+\rho}, \frac{\lambda\rho}{1+\rho}\right)$$

$\underset{\sim}{e}$ es un vector con 2n componentes de errores aleatorios y distribuidos idénticamente e independientes como una log-normal con media cero y varianza constante.

Variación I del Enfoque E.S.C.

Si la ecuación (63) se modifica por un término adicional aumentador de factor $e^{\pi t}$, queda,

$$Q_t = e^{\gamma t}\left[\alpha(K_t\, e^{\delta I_t})^{-\rho} + \beta\,(L_t\, e^{\lambda I_t})^{-\rho}\right]^{-1/\rho} \qquad (70)$$

En este caso si I_t no cambia, el tiempo causa un cambio neutral - en la función de producción. Si generalizamos considerando re-- tornos variables a escala,

$$Q_t = e^{\gamma t}\left[\alpha(K_t\, e^{\delta I_t})^{-\rho} + \beta\,(L_t\, e^{\lambda I_t})^{-\rho}\right]^{-v/\rho} \qquad (70a)$$

donde v es un parámetro de escala. Suponiendo que los factores se pagan según sus productividades marginales,

$$\left(\frac{w}{r}\right)_t = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{K}{L}\right)_t^{1+\rho} \cdot e^{(\delta-\lambda)\rho I_t}$$

este resultado es idéntico a (67). Se sigue que la elasticidad - de sustitución de (70a) tiene la misma forma que (68).

Estimación de la E.S.C. (70).

Extrayendo las primeras derivadas en (70) con respecto a K y L, las estimaciones del modelo (70) se basan en las ecuaciones si guientes:

$$\mathrm{Ln}\left(\frac{Q}{K}\right)_t = -\frac{1}{1+\rho}\,\mathrm{Ln}\,\alpha + \frac{1}{1+\rho}\,\mathrm{Ln}\, r_t + \frac{\delta\rho}{1+\rho} I_t + \frac{\gamma\rho}{1+\rho}\, t \qquad (71)$$

$$\mathrm{Ln}\left(\frac{Q}{L}\right)_t = -\frac{1}{1+\rho}\,\mathrm{Ln}\,\beta + \frac{1}{1+\rho}\,\mathrm{Ln}\, w_t + \frac{\lambda\rho}{1+\rho} I_t + \frac{\gamma\rho}{1+\rho}\, t \qquad (72)$$

Expresado (71) y (72) como ecuaciones de regresión de la — forma (69), con

$$Q' = \left[\mathrm{Ln}\,(Q/K)_{t_0} \ldots \mathrm{Ln}\,(Q/K)_{t_n}\, \mathrm{Ln}\,(Q/L)_{t_0} \ldots \mathrm{Ln}\,(Q/L)_{t_n}\right]$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \mathrm{Ln}\, r_{t_0} & I_{t_0} & 0 & t_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & \mathrm{Ln}\, r_{t_n} & I_{t_n} & 0 & t_n \\ 0 & 1 & \mathrm{Ln}\, w_{t_0} & 0 & I_{t_0} & t_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 1 & \mathrm{Ln}\, w_{t_n} & 0 & I_{t_n} & t_n \end{bmatrix} \qquad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix}$$

$$b^* = \left[-\frac{1}{1+\rho} \mathrm{Ln}\, \alpha \,,\ \frac{-1}{1+\rho} \mathrm{Ln}\, \beta \,,\ \frac{1}{1+\rho} \,,\ \frac{\delta\rho}{1+\rho} \,,\ \frac{\lambda\rho}{1+\rho} \,,\ \frac{\gamma\rho}{1+\rho} \right]$$

Variación II del Enfoque E.S.C.

Si se desea especificar la función de producción E.S.C, de tal manera que pueda permitir cambios no neutrales en el cambio técnico que estan asociados con la variable tiempo, se tiene la siguiente forma funcional:

$$Q_t = \left[\alpha(K_t\, e^{\delta I_t + \theta t})^{-\rho} + \beta(L_t\, e^{\lambda I_t + \phi t})^{-\rho} \right]^{-1/\rho} \qquad (73)$$

Cuando $\theta \neq \phi$, el tiempo causa un cambio no neutral a tasas constantes.

Las condiciones de productividad marginal de la ecuación (73) son:

$$w_t = \frac{\partial Q_t}{\partial L_t} = \beta\left(\frac{Q}{L}\right)_t^{1+\rho} e^{-\rho(\lambda I_t + \phi t)} \quad , \text{ y} \qquad (74)$$

$$r_t = \frac{Q}{L_t} = \left(\frac{Q}{K}\right)_t^{1+\rho} e^{-\rho(\delta I_t + \theta t)} \qquad (75)$$

Por lo tanto,

$$\left(\frac{w}{r}\right)_t = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{K}{L}\right)_t^{1+\rho}\left(\frac{H_K}{H_L}\right)^{\rho} \tag{76}$$

donde,

$$H_K \equiv e^{\delta I_t + \theta t} \qquad \text{y} \qquad H_L \equiv e^{\lambda I_t + \phi t}$$

De la ecuación (76) se puede ver que si los valores de los factores de aumento son dados, el signo del parámetro de sustitución ρ influya en la dirección del cambio con el cociente capital/trabajo y en la dirección de los sesgos de los factores de aumento. Según Drandakis y Phelp(11,1966,pp.825-75), la dirección del sesgo en el sentido de Hicks puede definirse en términos del cambio en las tasas marginales de sustitución a precios de los factores constantes, lo cuál resulta en tres casos:

1) $\rho = 0$, el cambio siempre es neutral.
2) $\rho > 0$, el cambio técnico es ahorrador de trabajo si $\dot{h}_L > \dot{h}_K$ y ahorrador de capital si $\dot{h}_L < \dot{h}_K$.
3) $\rho < 0$, el cambio técnico siempre es ahorrador de trabajo si $\dot{h}_L < \dot{h}_K$ y ahorrador de capital si $\dot{h}_L > \dot{h}_K$.

donde,

$$\dot{h}_K \equiv d(\ln H_K)/dt = \delta d(I_t)/dt$$

$$\dot{h}_L \equiv d(\ln H_L)/dt = \lambda d(I_t)/dt$$

Cuando $\theta = \phi$, se puede ver que si $d(I_t)/dt$ es positivo, el cambio técnico es positivo si δ y λ también son positivos. En este caso, si $\dot{h}_L > \dot{h}_K$, $\delta < \lambda$, y al revéz es cierto si $\dot{h}_L < \dot{h}_K$. Si $d(I_t)/dt$ es negativo, los parámetros de aumento de factores δ y λ

deben ser negativos para ser consistentes con el cambio técnico. En este caso si $\dot{h}_L > \dot{h}_K$, $\delta > \lambda$, esto es, $|\delta|<|\lambda|$. Al revéz también vale si $\dot{h}_L < \dot{h}_K$.

ESTIMACION DE (73)

Considerando (74) y (75), las ecuaciones de estimación son:

$$\mathrm{Ln}\ (Q/K)_t = -\frac{1}{1+\rho}\mathrm{Ln}\,\alpha + \frac{1}{1+\rho}\mathrm{Ln}\,r_t + \frac{\delta\rho}{1+\rho} I_t + \frac{\theta\rho}{1+\rho} t \qquad (77)$$

y,

$$\mathrm{Ln}\ (Q/L)_t = -\frac{1}{1+\rho}\mathrm{Ln}\,\beta + \frac{1}{1+\rho}\mathrm{Ln}\ w_t + \frac{\lambda\rho}{1+\rho} I_t + \frac{\phi\rho}{1+\rho} t \qquad (78)$$

Podemos expresar (77) y (78) en la forma (69) con:

$$Q' = \left[\mathrm{Ln}(Q/K)_{t_o}, \ \ldots\ , \mathrm{Ln}(Q/K)_{t_n}, \mathrm{Ln}(Q/L)_{t_o}, \ \ldots\ , \mathrm{Ln}(Q/L)_{t_n}\right]$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \mathrm{Ln}\ r_{t_o} & I_{t_o} & 0 & t_o & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & \mathrm{Ln}\ r_{t_n} & I_{t_n} & 0 & t_n & 0 \\ 0 & 1 & \mathrm{Ln}\ w_{t_o} & 0 & I_{t_o} & 0 & t_o \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 1 & \mathrm{Ln}\ w_{t_n} & 0 & I_{t_n} & 0 & t_n \end{bmatrix} \quad ; \qquad \underline{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \end{bmatrix}$$

$$\underline{b}' = \left[-\frac{1}{1+\rho}\mathrm{Ln}\,\alpha,\ -\frac{1}{1+\rho}\mathrm{Ln}\,\beta,\ \frac{1}{1+\rho},\ \frac{\delta\rho}{1+\rho},\ \frac{\lambda\rho}{1+\rho},\ \frac{\theta\rho}{1+\rho},\ \frac{\phi\rho}{1+\rho}\right]$$

A modo de comentario, se debe hacer notar la existencia de algunas objeciones acerca de la formulación de los modelos:

1. La magnitud y estabilidad de los parámetros aún no se ha

establecido inequívocamente, y esto puede llevarnos a dudar de la utilidad de la función de producción, pero afortunadamente existe la evidencia de que la especificación de su forma es de importancia secundaria y que contribuye muy poco a la explicación del "residual".

2. Los supuestos (como la sustitución perfecta entre el viejo y el nuevo capital, la tasa constante de depreciación, etc.) en que se apoya la identificación de las funciones de producción para su estimación, pueden imponer restricciones poco realistas muy fuertes

3. Existen algunas dificultades por usar el P.I.B ó el ingreso nacional para evaluar el rol del progreso técnico. Puede existir una sobreestimación del incremento de la productividad de los factores.

Sin embargo, los modelos más usados empíricamente son los de Solow, Solow-Nelson, Intriligator, y los modelos del cambio técnico inducido con funciones E.S.C; los cuales son el reflejo del estado del arte en esta área de investigación y como se puede observar, se necesita más investigación.

IV. DIFUSION Y ADAPTACION DE TECNOLOGIA

El proceso de difusión -el proceso por el cuál el uso de una innovación se propaga- es de gran importancia social. Por ejemplo, en el caso del proceso de innovación, la tasa de difusión determina que tan rápido aumenta la productividad en respuesta al nuevo proceso. En una economía de libre empresa, los consumidores y las empresas son libres de usar tecnología nueva tan despacio o tan rápido como deseen, sujeto a todas las restricciones impuestas por el mercado.

El proceso de difusión es un proceso de aprendizaje; más que estar confinado a un laboratorio de investigación o a pocas firmas, el aprendizaje toma lugar entre un número considerable de usuarios y productores. Cuando la innovación aparece por primera vez, los usuarios potenciales tienen incertidumbre de su naturaleza y efectividad, y tienden a ver su adquisición como un experimento. La información considerando la existencia, características y disponibilidad de la innovación es difundida por el productor a través de la publicidad.

El proceso de innovación involucra la reasignación de recursos. Por ejemplo, si un equipo nuevo se adopta para reemplazar el equipo viejo, entonces el trabajo, el capital y las materias primas deben estar disponibles para hacer operar el nuevo equipamiento. Los recursos que usa el eqipo antiguo se transfieren a otro empleo. Algunos trabajadores pueden ser despedidos y otros retenidos para operar el nuevo equipo. El proceso de ajuste o adaptación es complicado y no se logra tan fácilmente; de esto se comenta muy ampliamente en Nelson(32,1969). En este capítulo se analiza principalmente el proceso de difusión de una innovación, la velocidad en que se difunde y los determinantes de esta velocidad de difusión entre las empresas. Los modelos presentados se basan en los estudios de Mansfield y otros(26, 1977, pp. 109-125) y ayudan a responder las siguientes preguntas: ¿Cuales son los determinantes de la tasa de difusión de una innovación? ¿Cuales son las características de las firmas que innovan muy rápido?

4.1. Un Modelo del Proceso de Difusión.

El supuesto básico sobre la proporción de "retrazados" en el momento t que introducen las innovaciones en el momento t+1 es que depende de:

1. La proporción de empresas que ya la introdujeron en el momento t.

2. La rentabilidad de la instalación de la innovación.

3. El monto de la inversión requerida por la instalación.

4. Otras variables no especificadas.

Si dejamos que la función varie entre las industrias, tendremos:

$$R_{ij} = F_i \left(\frac{M_{ij}(t)}{N_{ij}} , I_{ij}, S_{ij}, \ldots, \right) \qquad (1)$$

Donde,

R_{ij} = La proporción de "retrazados" (empresas que no usan esta innovación) en el momento t que la introdujeron para el momento t+1, es decir,

$$R_{ij} = \frac{M_{ij}(t+1) - M_{ij}(t)}{N_{ij} - M_{ij}(t)} \qquad (2)$$

N_{ij} = El número total de empresas consideradas para la innovación j en la industria i .

M_{ij} = El número de empresas que han inducido la innovación j en la industria i en el momento t.

I_{ij} = La rentabilidad de la innovación instalada en relación con la rentabilidad de inversiones - alternativas.

S_{ij} = La inversión requerida para la instalación de la innovación j en la industria i como porcentaje del promedio de los activos totales de - estas empresas.

$P_{ij}(t) = \frac{M_{ij}(t)}{N_{ij}}$: La proporción de las firmas que han introducido la innovación j en la industria i en el momento t

A continuación se señalarán los efectos supuestos de la variación de $P_{ij}(t)$, I_{ij} y S_{ij} sobre $R_{ij}(t)$.

Primero: Parece razonable que R_{ij} aumente con el aumento de $P_{ij}(t)$. A medida que se acumulan más información y experiencia se vuelve menos riesgosa la iniciación de su uso. Aumentan las presiones competitivas y ocurren efectos de "procesión".

Segundo: Sería de esperarse también que la rentabilidad de - la instalación de la innovación influyera de modo importante sobre $R_{ij}(t)$. Cuanto más rentable sea - esta inversión en relación con las demás disponi-- bles mayor será la probabilidad de que la estimación de la rentabilidad formulada por una empresa sea suficientemente grande para compensar los riesgos implicados de que parezca conveniente la instalación de la técnica nueva en lugar de esperar.

Tercero: En cuanto a las innovaciones igualmente rentables

$R_{ij}(t)$ tendería a ser menor para aquellas que re - quieren inversiones relativamente grandes.

Cuarto: Para innovaciones igualmente rentables que requieran la misma inversión, es probable que $R_{ij}(t)$ varíe entre las industrias. Podría ser mayor en una industria que en otra porque las empresas de la primera industria tuvieran menos inversión al riesgo, porque los mercados fueran más competitivos, - porque la actitud de la fuerza hacia la innovación fuera más favorable, o porque la industria fuera financieramente más saludable; éstas diferencia in - terindustriales pueden tener un efecto importante sobre $R_{ij}(t)$.

Suponiendo que $R_{ij}(t)$ puede variar contínuamente, y que se pueda aproximar adecuadamente dentro del intervalo pertinente - por una expansión de Taylor que elimine los términos de tercero y cuarto orden. Si suponemos que el coeficiente de $[P_{ij}(t)]^2$ es cero, tenemos:

$$R_{ij}(t) = a_{i1} + a_{i2} P_{ij}(t) + a_{i3} I_{ij} + a_{i4} S_{ij} + a_{i5} I_{ij} P_{ij}(t) +$$

$$+ a_{i6} S_{ij} P_{ij}(t) + a_{i7} I_{ij} S_{ij} + a_{i8} I_{ij}^2 + a_{i9} S_{ij}^2 + \ldots, \quad (3)$$

Sustituyendo en (2)

$$m_{ij}(t+1) - m_{ij}(t) = \left\{ n_{ij} - m_{ij}(t) \right\} \left[a_{i1} + a_{i2} P_{ij}(t) + \ldots + a_{i9} S_{ij}^2 + \ldots, \right] \quad (4)$$

Si suponemos que el tiempo se mide en unidades muy pequeñas (4) se puede aproximar con una ecuación diferencial.

$$\frac{dM_{ij}(t)}{dt} = \left\{N_{ij} - M_{ij}(t)\right\}\left[Q_{ij} + \varphi_{ij}\, P_{ij}(t)\right] \tag{5}$$

cuya solución es,

$$M_{ij}(t) = N_{ij}\,\frac{\exp\left\{l_{ij} + (Q_{ij} + \varphi_{ij})t\right\} - (Q_{ij}/Q_{ij})}{1+ \exp\left\{l_{ij} + (Q_{ij} + \varphi_{ij})t\right.} \tag{6}$$

donde l_{ij} es una constante de integración, Q_{ij} es la suma de todos los términos de (3) que no contienen $P_{ij}(t)$, y

$$\varphi_{ij} = a_{i2} + a_{i5}\, I_{ij} + a_{i6}\, S_{ij} + \ldots \tag{7}$$

φ_{ij} es el coeficiente de $P_{ij}(t)$ en (3)

Si imponemos la condición de que a medida que avanzamos hacia atrás en el tiempo el número de empresas que han introducido la innovación debe tender a cero, o sea,

$$\lim_{t \to -\infty} M_{ij}(t) = 0 \tag{8}$$

Por lo tanto,

$$M_{ij}(t) = N_{ij}\left[1+ \exp\left\{-(l_{ij} + \varphi_{ij}\, t)\right\}\right]^{-1}$$

$$P_{ij}(t) = \left[1 + \exp\left\{-(l_{ij} + \varphi_{ij}\, t)\right\}\right]^{-1} \tag{9}$$

Así pués, el crecimiento a través del tiempo del número de empresas que han introducido una innovación debe ajustarse a una función logística, una curva de crecimiento en forma de S.

Si (q) es correcta, puede demostrarse que la velocidad de la imitación está gobernada por φ_{ij}.

La ecuación (7) puede expresarse bajo ciertas consideraciones como:

$$\varphi_{ij} = b_i + a_{i5} I_{ij} + a_{i6} S_{ij} + Z_{ij} \qquad (10)$$

donde Z_{ij} es un término que señala los errores aleatorios. Por lo tanto $E(\varphi_{ij})$ es una función lineal de I_{ij} y S_{ij} en una industria particular.

Resumiendo, el modelo conduce a dos pronósticos:

1) El número de empresas que han introducido una innovación, colocado en una gráfica frente al tiempo, debería aproximarse a una función logística. Ecuación (9).

2) La velocidad de imitación en una industria particular debería ser mayor para las innovaciones más rentables y para las que requieran inversiones relativamente pequeñas. Según la ecuación (10)

Las estimaciones de (9) y (10) se realizan por medio del método de mínimos cuadrados ordinarios. Para estimar (10) se supone que a_{i5} y a_{i6} no varían entre las industrias. Entonces (10) se convierte en:

$$\hat{\varphi}_{ij} = b_i + a_1 I_{ij} + a_2 S_{ij} + Z'_{ij} \quad \ldots \quad (11)$$

Si suponemos que Z'_{ij} tiene una distribución Normal con varianza constante, se pueden aplicar las pruebas estadísticas standar pa ra las hipótesis lineales a fin de determinar si a_5 y a_6 son distintas de cero.

Por otro lado, otros factores podrían haber sido igualmente importantes, y su inclusión en el modelo determinista (de regresión) puede permitir una explicación mejor de las diferencias en las tasas de imitación. A continuación se analizará la influencia de otros cuatro factores sobre $R_{ij}(t)$.

Primero, sería de esperarse que $R_{ij}(t)$ fuese menor si la innovación remplazara equipo muy durable. Aunque el cálculo económico indicara que la reposición sería rentable, las empresas pueden resistirse a desechar equipo que no se ha depreciado por completo y seguirá sirviendo durante mucho tiempo; en tal caso, d_{ij} -el número de años que transcurrieron antes de que se sustituyera el equipo antiguo (antes de que apareciera la innovación)- puede ser una de las variables excluidas en (1), y por lo tanto $\hat{\varphi}_{ij}$ puede ser una función lineal de I_{ij}, S_{ij} y d_{ij}.

$$\hat{\varphi}_{ij} = b_i + a_1 I_{ij} + a_2 S_{ij} + a_3 d_{ij} + Z'_{ij} \qquad (12)$$

Segundo, sería de esperarse que $R_{ij}(t)$ fuera mayor si las empresas se están expandiendo con rapidez. Si hay poca o ninguna expansión la introducción de la innovación debe esperar a que las empresas repongan el equipo existente. Por otro lado si V_{ij} -la tasa anual de crecimiento de las ventas de la industria durante el período- se incluye en (11),

$$\hat{\varphi}_{ij} = b_i + a_1 I_{ij} + a_2 S_{ij} + a_4 V_{ij} + Z'_{ij} \qquad (13)$$

Tercero, $R_{ij}(t)$ pudo haber aumentado a través del tiempo. Así, la tendencia marcaría la evolución de mejores canales de comunicación, las técnicas más refinadas para la evaluación de la reposición de las máquinas y las actitudes más favorables hacia -

el cambio tecnológico. Si t_{ij} -el año enque se introdujo la innovación por primera vez- se incluye en (11),

$$\hat{\varphi}_{ij} = b_i + a_1 I_{ij} + a_2 S_{ij} + a_5 t_{ij} - Z'_{ij} \qquad (14)$$

Por último, sería de esperarse que $R_{ij}(t)$ fuera incluido por la fase del ciclo económico en que se introdujera por primera vez la innovación. Sea δ_{ij} igual a uno si la innovación se introduce en la fase de expansión y cero si se introduce en la fase de - concentración. Si incluimos δ_{ij} en (11) tendremos:

$$\varphi_{ij} = b_i + a_1 I_{ij} + a_2 S_{ij} + a_6 \delta_{ij} + Z'_{ij} \qquad (15)$$

Se puede determinar si d_{ij}, V_{ij}, t_{ij}, y δ_{ij} son significativos estadísticamente utilizando una prueba t - student para probar la hipótesis de que $a_i = 0$, $i = 3, 4, 5, 6$.

4.2 Un Modelo Estocástico del Proceso de Difusión de las Innovaciones.

En esta sección consideraremos que para la innovación j en - la industria i, sea $P_{ij}(t,k)$ la probabilidad de que cualquiera de los "retrazados" en el momento t la introducirían para el momento t+k, y supongamos (para k chica) que

$$P_{ij}(t,k) = \theta_{ij}\, P_{ij}(t)\, k. \qquad (16)$$

$$\theta_{ij} = b'_i + a'_1 I_{ij} + a'_2 S_{ij} + Z''_{ij} \qquad (17)$$

En el modelo determinista se trataba de señalar la forma en que aumenta a través del tiempo el número real de usuarios; en éste modelo estocástico se interesa en ver como crece el número esperado, con éste fin se obtiene la expresión (18) para $P^r_{ij}(t)$ -la probabilidad en el momento t que haya exactamente r empresas en la industria i que no hayan introducido todavía la innovación j. Por (16),

$$P^r_{ij}(t+k) = P^r_{ij}(t)\left[1 - r\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij} - r)k\right] +$$

$$+ P^{r+1}_{ij}(t)(r+1)\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij} - r - 1) + 0(k), \qquad (18)$$

donde 0(k) representa términos que si se dividen entre k tienden a cero a medida que k se desvanece.

Para derivar (18) tenemos que

$$P^r_{ij}(t+k) = \sum_{x=r}^{N_{ij}} P^x_{ij}(t)\, D^{x-r}_{ij}(t) \qquad (19)$$

donde $D^{x-r}_{ij}(t)$ es la probabilidad de que x-r empresas empiecen a usar la innovación entre el momento t y el momento t+k, dado que N_{ij} - x empresas la estan usando en el momento t. Por (16),

$$D^o_{ij}(t) = \left[1 - (\theta_{ij}/N_{ij})(N_{ij} - r)k\right]^r;$$

$$D_{ij}^{r}(t) = (r+1)\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij} - r-1)k\left[1-\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij} -r-1)k\right]^{r-1}, \text{ etc.}$$

Por lo tanto,

$$P_{ij}^{r}(t-k) = P_{ij}^{r}(t)\left[1-\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij} -r)k\right]^{r}+P_{ij}^{r+1}(t)(r+1)\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij}-r-1)\,*$$

$$*\left[1-\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij}-r-1)k\right]^{r-1} + 0(k)$$

$$= P_{ij}^{r}(t)\left[1-r\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij}-r)k\right]+P_{ij}^{r+1}(t)\left\{(r+1)\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(N_{ij}-r-1)k\right\}+$$

$$+ 0(k)$$

La probabilidad de que un "retrazado" introduzca la innovación entre el momento t y el momento t+k es

$$\left\{N_{ij} - M_{ij}(t)\right\}\theta_{ij}\, M_{ij}(t)\, k/N_{ij} + 0(k), \tag{20}$$

y la probabilidad de que nadie la introduzca es

$$1-\left\{N_{ij} - M_{ij}(t)\right\}\theta_{ij}\, M_{ij}(t)\, k/N_{ij} + 0(k). \tag{21}$$

Regresando a (18), si restamos $P_{ij}^{r}(t)$ a ambos miembros, dividimos entre k y hacemos que k tienda a cero, resultará la siguiente ecuación diferencial en diferencia:

$$\dot{P}^r_{ij}(t) = \begin{cases} -\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}} r(N_{ij}-r)P^r_{ij}(t) + \frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}(r+1)(N_{ij}-r-1)P^{r+1}_{ij}(t), & \text{Si } r<N_{ij}-1 \\ -\frac{\theta_{ij}}{N_{ij}}\, r\, P^r_{ij}(t)\ , & \text{si } r = N_{ij}-1. \end{cases} \qquad (22)$$

con las condiciones iniciales de que $P^r_{ij}\ (t^*_{ij}) = 1$ para $r = N_{ij} - 1$ y $P^r_{ij}\ (t) = 0$ de otro modo. t^*_{ij} es la fecha tomada como dada en que se introdujo la innovación por primera vez. Por (22) se sigue que $M_{ij}(t^*_{ij} + v)$ —el número esperado de empresas que usaban la innovación en el momento $(t^*_{ij} + v)$— es:

$$M_{ij}(t^*_{ij}+v) = N_{ij} - \sum_{r=1} \frac{(N_{ij}-1)!}{(N_{ij}-r-1)!(r-1)!} \left[(N_{ij}-2r)^2 - \frac{\theta_{ij}}{N_{ij}} v + 2 - (N_{ij}-2r) \sum_{u=r}^{N_{ij}-r-1} u^{-1} \right] \cdot e^{-r(N_{ij}-r)(\theta_{ij}/n)v} \qquad (23)$$

donde r llega hasta $(\frac{1}{2}N_{ij}-1)$ para N_{ij} non y hasta $\frac{1}{2}N_{ij}$ para N_{ij} par.

Esta versión estocástica del modelo conduce a las dos proposiciones siguientes:

1. El número esperado de empresas que han introducido una innovación en cualquier fecha siguiente a t^*_{ij} debe ser dado por (23).
2. El parámetro θ_{ij}, que para N_{ij} dado determina la velocidad de imitación esperada, debe ser una función lineal de I_{ij} y de S_{ij}, la intercepción de la función diferente entre las industrias.

Para apreciar la validez de la primera proposición estimamos θ_{ij}, la sustituimos en (23) y comparamos el crecimiento a través del tiempo del número de usuarios calculado con la curva de crecimiento real.

Para probar la segunda proposición suponemos que los errores de las θ_{ij} no estan correlacionados con I_{ij} ni con S_{ij} y por tanto que:

$$\hat{\theta}_{ij} = b_i' + a_1' I_{ij} + a_2' S_{ij} + Z_{ij}' \qquad (24)$$

Como conclusión a modo de advertencia, se debe tomar en cuenta para la evaluación de los modelos, las limitaciones de los datos, los métodos de estimación y el alcance de la investigación. De alguna manera los modelos presentados no están completos, se pueden extender incluyendo variables adicionales como los gastos en IDE de las industrias y su estructura del mercado; en la sección siguiente se indicarán algunas direcciones en que se pueden extender los modelos presentados anteriormente.

4.3. Extensiones de los Modelos.

Las direcciones en que se pueden extender los modelos son:

1. Las industrias basadas en la ciencia que gastan más en IDE pueden tender a tener tasas de imitación más altas, manteniendo otros factores constantes, que las industrias que están basadas en tecnologías poco basadas en la ciencia y que desarrollan poca actividad de IDE.

2. La estructura del mercado de la industria puede tener un efecto sobre la tasa de imitación, como fué señalado en la sección (d) del primer capítulo.

3. La dispersión de la rentabilidad de la innovación entre las firmas es probable que tenga efectos significantes sobre la tasa de imitación. Manteniendo la rentabilidad promedio de la innovación constante, la tasa de imitación es probable que decrezca mientras la varianza entre las firmas en la rentabilidad de la innovación aumenta. Por otro lado, si existe poca variación entre las firmas alrededor del promedio, probablemente existe poca variación en como de rápido las firmas empiezan a usar la técnica nueva, con el resultado de que la tasa de imitación será más alta.

4. Otro factor que puede tener una influencia importante sobre la tasa de imitación es la medida del tiempo que la innovación ha estado en uso en otras industrias.

Estas hipótesis aún no han sido probadas satisfactoriamente, y actualmente es un campo en investigación.

Otra forma importante de extender el modelo básico de la curva logística es buscar otras medidas de la tasa de una innovación además de la tasa de imitación. Para muchos propósitos, es más importante saber que tan rápido aumenta el porcentaje de producto producido por una innovación, o saber qué tan rápido aumenta el porcentaje de nuevo equipo incorporado por la nueva técnica, que saber que tan rápido aumenta el porcentaje de firmas usando la nueva técnica. En la siguiente subsección se considerará el aumento sobre el tiempo del porcentaje del producto elaborado con una nueva técnica, para ver como el modelo básico puede extenderse.

4.3.1. Modelo de Difusión de la Innovación del Producto.

En este modelo se redefinen las variables usadas en la sec ción(4.1)

$P_{ij}(t)$: es la proporción del producto industrial no producido - por el j-ésimo proceso de innovación en la industria i en el — tiempo t y que se produce en el tiempo t-1.

$P_{ij}(t)$: es la proporción del producto industrial producido por - el j-ésimo proceso de innovación en la industria i en el tiempo t

Considerando las mismas suposiciones adoptadas en la sección (4.1) obtenemos las mismas expresiones de las ecuaciones (9) y - (10). La tasa de difusión ahora se mide como elaumento sobre el tiempo del porcentaje del producto elaborado por la nueva técnica

$$P_{ij}(t) \frac{1}{1 + e^{-(\ell_{ij} + \varphi_{ij} t)}} \tag{9a}$$

Basándose en la regresión de Ln $(P_{ij}(t)/(1-P_{ij}(t)))$ sobre - t, se obtienen las estimaciones de ℓ_{ij} y φ_{ij} para cada innova - ción j.

Si consideramos a I_{ij} en (11) como una estimada de la renta bilidad promedio de la innovación j y D_{ij} como el año en que se usó por primera vez la innovación j; y, A_{ij} una variable artificial que es igual a 1 si, en el caso de la j-ésima innovación, - subsecuentes productores usaron la versión del proceso del innovador, e igual a cero si los productores subsecuentes decidieron inventar en torno a la patente del innovador, mas que adoptar la patente; entonces la ecuación similar a (11) será:

$$\varphi_{ij} = a_1 I_{ij} + a_2 D_{ij} + a_3 A_{ij} + Z'_{ij} \tag{11a}$$

Bajo esta ecuación se determinará si los coeficientes de —

I_{ij}, D_{ij} y A_{ij} son estadísticamente significativos, y si estas variables explican "bién" las tasas estimadas de difusión (un R^2 grande).

Otras de las cuestiones importantes es ¿Que factores influyen la tasa de difusión de una innovación del producto? En otras palabras, una vez que alguna firma introduzca un nuevo producto, ¿que factores influyen en la rapidez en que otras firmas imitan el nuevo producto? Se podrían manejar algunas hipótesis a este respecto:

1. Uno esperaría,ceteris paribus, que las innovaciones que fueron muy rentables al innovador serían imitadas más rápido que aquellas que no lo fueran.

2. Uno esperaría, ceteris paribus, que la imitación ocurriera más lentamente si las patentes evitarán su imitación.

3. Se esperaría, ceteris paribus, que la imitació ocurriría más rápidamente si solamente se requiere una inversión pequeña para construir una planta de tamaño razonable para producir el nuevo producto.

4. Se esperaría, ceteris paribus, que la imitación ocurriera más rápido si es relativamente barato a los imitadores potenciales "inventar" en torno a cualquier patente que el innovador mantiene en el proceso de producir el bién nuevo.

5. Se esperaría, ceteris paribus, que la imitación ocurriera más rápidamente si las ventas del producto innovado crecieran más rápido.

Para probar las hipótesis anteriores, se propone como medida de la tasa de imitación el número de años que pasaron desde la fecha que se introdujo por vez primera la innovación j, hasta la fecha en que una segunda firma empieza a producir el mismo ar —

ticulo en la industria i: X_{ij} .

Considerando X_{ij} como la variable dependiente en una ecuación de regresión, y como variables independientes a:

U_{ij} como una estimación de la tasa de recuperación de de la inversión sobre la j-ésima innovación en la i-ésima industria;

L_{ij} como el número de años que han permanecido las patentes con el innovador después de la introducción de la j-ésima innovación en la i-ésima industria;

B_{ij} como la inversión promedio estimada para construir una planta en la i-ésima industria para producir la j-ésima innovación;

D_{ij} como una estimación de los costos de IDE que habrían sido requeridos para "inventar" en torno a las patentes del proceso del innovador de la j-ésima innovación en la i-ésima industria;

G_{ij} como la tasa anual de crecimiento del producto de la j-ésima innovación de la i-ésima industria (medido en $ anual).

Así se tiene que,

$$X_{ij} = a_0+a_1U_{ij}+a_2L_{ij}+a_3B_{ij}+a_4D_{ij}+a_5G_{ij}+a_6T_{ij}$$

donde T_{ij} es el año cuando se introdujo por vez primera la j-ésima innovación menos el año base en que se considera el estudio.

Concluyendo, en esta sección se propuso la curva logística como modelo para presentar el crecimiento en el tiempo del porcentaje del producto industrial producido con un proceso nuevo; y que la tasa de difusión está directamente relacionada con la tasa de utilidad de la innovación. Por lo que respecta a la difu sión de innovación del producto, se postuló que la tasa a la — cual un nuevo producto será imitado, depende de la rentabilidad de producir la innovación, de la existencia y duración de las - patentes de innovación, del tamaño de la inversión requerida para producir la innovación, el costo de "inventar" en torno a — las patentes del proceso relevante al innovador, y la tasa de - crecimiento de las ventas del producto nuevo.

Existen otros factores no controlables que influyen en la tasa de difusión de la tecnología nueva, como por ejemplo, los gobiernos con frecuencia promueven el uso de nueva tecnología a través del fomento y financiamiento de IDE. También las políticas gubernamentales en la educación tienen un efecto importante sobre la tasa de aplicación de nueva tecnología. Con respecto a las políticas sobre el monopolio y concentración industrial, — sus políticas hacia la organización laboral, sus políticas fiscales y de patentes, en general todos los instrumentos de política científica y tecnológica en un país; Nadal(29,1977) y Sen (41,1969).

V. PROBLEMAS DE DATOS Y NIVEL DE AGREGACION.

En este capítulo se analizarán los problemas más comunes, que surgen al considerar el nivel de agregación de la función de producción y de las variables, las definiciones de las variables y la disponibilidad de la información (datos) requerida.

Es muy común en los estudios del cambio técnico a nivel industrial, considerar una función de producción única para todas las industrias; y, esto supone que todas las empresas que constituyen la industria adopten la misma función de producción para cada firma. Esto quiere decir que al nivel industrial se le agregan un conjunto de funciones de producción. En el nivel nacional, se agregan un conjunto de funciones de producción microeconómicas, una función de producción distinta para cada industria. Se ha demostrado que con retornos constantes a escala y solo dos factores de producción, la condición necesaria para la agregación es que todo el capital sea perfectamente sustituible y todos los cambios técnicos sean aumentadores de capital; pero si los retornos no son constantes, la agregación del capital solo es posible bajo la suposición de que la función de producción de cada firma individual puede hacer rendir retornos constantes después de un apropiado "estirón del eje del capital", Nadiri(30,1970,p.1145). Sato ha extendido el principio de agregación mencionado, mostrando que, si el capital y el trabajo están en unidades de eficiencia, la naturaleza del cambio tecnológico en el nivel microeconómico se preserva en el nivel agregado, esto es, si el cambio tecnológico en las funciones de producción microeconómicas es puramente aumentador de capital (neutralidad de Solow), puramente aumentador de trabajo (neutralidad de Harrod) ó igualmente aumentador de trabajo y de capital (neutralidad de Hicks), así es el cambio técnico en el nivel agregado.

El capital y el trabajo son agregados de elemtos básicamente heterogéneos y con caracteríisticas divergentes como: longevidad, cualidades productivas, movilidad, etc. La mayor controver sia sobre la agregación surge al considerala de los diferentes tipos de bienes de capital. El enfoque neoclásico supone una economía competitiva y perfecta, con la cantidad de capital independiente de los precios relativos y de la distribución del ingreso. Robinson, Kaldor y otros han argumentado que es imposible construir un índice de la cantidad de capital; el capital es esencialmente un concepto de valor que es afectado por los cambios en los precios relativos de los factores, por el interés y por las tasas de salarios; Urquidi (47, 1979).

Por otro lado, existe el problema conceptual de las unidades de tiempo para medir los cambios en el proceso de producción. Puede existir alguna diferencia en la interpretación si se consideran períodos quinquenales, anuales, semestrales, etc, para medir los cambios. También el hecho de suponer que la tasa de cambio tecnológico y la elasticidad, , permanezcan constantes sobre el período que abarca el estudio, provoca el problema de agregación sobre el tiempo.

Nadiri (30, 1970, pp.1145-1146) dice que "la agregación no es 'necesariamente mala' ni es necesariamente buena. De hecho la función de producción agrgada emerge como una consecuencia del proceso de crecimiento a varios microniveles..."

Por lo que se ha señalado, el problema de la agregación es muy serio y afecta la magnitud, la estabilidad, y los cambios dinámicos de la productividad total de los factores.

Otro problema muy importante y que está muy relacionado con el problema del nivel de agregación, es la consideración de las definiciones y sus correspondientes mediciones de las variables involucradas en el estudio. Como ya se señaló, el capital y el trabajo al combinarse en una función de producción para producir un bien, se dice que se encuentra agregados; pero, ahora se trata de analizar cada variable por separado para tener una definición ó definiciones operacionales y así, determinar cuál es el grado de agregación de cada variable cuando se tienen los valores posibles que toma. En cuanto al capital, por ejemplo, uno se puede preguntar ¿cómo se encuentran los —

bienes de capital (K) construidos en diferentes períodos de tiempo, a costos diferentes, y con diferentes productividades agregados en una medida de capital?

En los modelos del cambio tecnológico exógeno, desincorporado y neutral, se asume que los insumos de factores (K,L) se miden en unidades de calidad constante, según su habilidad para contribuir a la producción. Si los insumos son ajustados por cambios en la calidad antes de medir o calcular la tasa de cambio tecnológico, de pende del propósito del estudio; si el propósito es simplemente medir el aumento en la productividad de los factores sobre el tiempo, no tiene sentido ajustar los factores por los cambios en su calidad, y en este caso se utilizarán los modelos del cambio tecnológico exógeno y desincorporado; si por otro lado el propósito del estudio es aclarar las condiciones para el crecimiento, se necesitan ajustar las series de los insumos por los cambios en la calidad para evitar la incomprensión del proceso del crecimiento, y en este caso se utilizarán los modelos del cambio tecnológico incorporado. Volviendo a la definición y medición del capital, se encuentra el problema de que el capital físico no puede medirse directamente y tiene que medirse en forma indirecta por su valor; aquí surge la cuestión de que si el capital debe ser valuado en términos de sus costos o en términos de su contribución a la producción. Si se toma este segundo enfoque, los aumentos en la eficiencia del capital como unresultado del avance técnico estarán incorporados en la medición del capital, y este enfoque es el que adoptan los modelos del cambio tecnológico incorporado; en el otro enfoque, los aumentos en la calidad del capital se reflejarán más en el término del progreso técnico que en la medida del capital.

Una fuente de error muy seria en la medición del capital es sobre la depreciación. La obsolescencia más que el deterioro físico es la característica dominante de la depreciación, y el flujo de servicios de capital no declina con la edad a una tasa equivalente a la tasa de depreciación.

En cuanto al trabajo, aparte de los problemas de agregación, las medidas del trabajo presentan menos dificultad que las medidas del capital. Las medidas físicas del trabajo existen a través del empleo u horas-hombre, y el problema de convertir valores a precios constantes no existe. El tratamiento de la depreciación a menos que la eficiencia del trabajo sea considerada como que se deteriora con la edad. Las críticas sobre el tratamiento inadecuado de los cambios en la calidad del capital se aplican también al trabajo; y los modelos que incorporan la calidad del trabajo son análogos a los desarrollados con capital incorporando su calidad.

Los dos factores más importantes que mejoran la calidad del trabajo son los procesos de aprendizaje (que afectan la calidad promedio del trabajo) y la educación (que puede ejercer su influencia tanto en los cambios en la calidad promedio del trabajo como en su distribución por edades). Aunque la educación hace aumentar el nivel de conocimientos de una sociedad para un futuro, y esta es su union más importante con el cambio tecnológico, su importancia cuantitativa es muy difícil de medirla.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Existe una teoría desquebrajada del cambio tecnológico. Una teoría verificada empíricamente del cambio tecnológico deberá responder a los siguientes cuestionamientos:

   - ¿Qué cantidad de recursos debe asignar una sociedad para la generación y difusión del cambio técnico con el objeto de maximizar el consumo per capita?
   - ¿Cómo afectan las variables económicas la naturaleza del cambio técnico?
   - ¿Cómo las políticas económicas cuyas metas no se relacionan con el cambio técnico pueden afectar la tasa y dirección del cambio técnico?

El estudio del cambio tecnológico elaborado en el presente trabajo, no es tan extenso como para que pueda contestar satisfactoriamente a las preguntas anteriores, pero existe el intento en hacerlo. Algunos modelos pueden utilizarse más que otros dependiendo de las limitaciones de los datos, los métodos de estimación y el alcance de la investigación. Sin embargo se puede notar que existe una fuerte contribución aportada por la teoría del cambio técnico endógeno, para entender el origen, naturaleza y los efectos del cambio técnico en el crecimiento de la productividad.

2. La elaboración de fórmulas más generales de funciones de producción ha servido para ampliar el alcance de la investigación econométrica en esta área (la magni-

tud y la estabilidad de los parámetros aún no se han establecido unívocamente). En este renglón se sugiere realizar un mayor esfuerzo que tienda a mejorar la disponibilidad de los datos requeridos, que al desarrollo de nuevas fórmulas de funciones de producción.

3. Las medidas propuestas del cambio tecnológico no son satisfactorias en un sentido amplio, pues dependiendo de los intereses de la investigación, pueden considerarse como posibles medidas: los gastos en IDE, el número de patentes, el número de científicos, el número de publicaciones científicas, etc. En este aspecto, se sugiere desarrollar una medida más completa del cambio técnico.

4. El análisis estadístico utilizado (análisis de regresión, procesos estocásticos de difusión) es adecuado para el análisis económico, pero pueden sugerirse otros métodos estadísticos que complementen el análisis de regresión dependiendo del estudio, por ejemplo el diseño de experimentos puede ser utilizado a nivel de proceso industrial para determinar que técnicas incrementan más la productividad.

5. Es necesario desarrollar modelos del cambio tecnológico propios para el pronóstico y la planeación de la dirección de innovaciones técnicas futuras.

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

1. Asinakopulos, A. and Weldon, J.C. (1963), "The Classification of Technical Progress in Models of Economic Growth", Economica.

2. Arrow, K; Chenery, H; Minhas, B; and Solow, R. (1961), "Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency", Review of Economics and Statistics, 43(3).

3. Baer, W; Hervé, M. (1966), "Employment and Industrialisation in Developing Countries", Quaterly Journal of Economics.

4. Beckmann, M.J. and Sato, R. (1969), "Aggregate Production Function and Types of Technical Progress: A Statistical Analysis", American Economic Review.

5. Binswanger, H.P; Ruttan, V.W. y otros. (1978), "Induced Innovatión:Technology, Institutions and Development", The Johns Hopkins University Press, Baltimore y London.

6. Bohman, J. and Bohman, M.K. (1973), "The Neoclassical Theory of Technical Progress: Note", American Economic Review 63(3).

7. Cobb, C.W. and Douglas, P.H. (1928), "A Theory of Production" American Economic Review.

8. Denison, E. (1964), "The Unimportance of the Embodied Question", American Economic Review.

9. Dhrymes, J.P. (1965), "Some Extensions and Tests for the CES Class of Production Functions", Review of Economic and Statistics, 47(4).

10. Domar, E. (1961), "On the Measurement of Technological Change", Economic Journal.

11. Drandakis, E.M. and Phelps, E.S. (1966), "A Model of Induced Invention, Growth and Distribution", Economic Journal

12. Ferguson, C. (1968), "Neoclasical Theory of Technical Progress and Relative Factor Shares", Southern Economic Journal, 34.

13. Ferguson, C. y Gould, J.P. (1978), "Teoría Microeconómica", F.C.E.

14. Harrod, R. (1961), "Neutrality of Improvements", Economic Journal.

15. Harrod, R. (1948), "Towards a Dynamic Economics", McMillan London.

16. Hicks, J. (1976), "Capital y Tiempo", F.C.E.

17. Hicks, J. (1973), "La Teoría de los Salarios", Ed. Labor, Barcelona, España.

18. Intriligator, D.M. (1965), "Embodied Technical Change and Productivity in the United States 1929-1958", Review of Economics and Statistics.

19. Jewkes, J. et al; (1969), "The Sources of Invention", New York: Norton.

20. Johansen, L. (1959), "Substitution Versus Fixed Production Coefficients in the Theory of Economic Growth: A Synthesis" Econometrica.

21. Kaneda, H. (1965), "Substitution of Labor and Non-Labor Inputs and Technical Change in Japanese Agriculture", The Review of Economics and Statistics.

22. Katz, J.M. (1976), "Importación de Tecnología, Aprendizaje e Industrialización Dependiente", F.C.E.

23. Kendrick, J.W. y Sato, R. (1963), "Factor Prices, Productivity and Economic Growth", American Economic Review 53

24. Kennedy, Ch. y Thirlwall, A. (1972), "Surveys in Applied Economics: Technical Progress", Economic Journal.

25. Mansfield, E. (1971), "Technological Change", Norton & Company Inc.

26. Mansfield, E. y otros. (1977), "The Production and Application of New Industrial Technology", Norton & Company.

27. McCarthy, M. (1965), "Embodied and Disembodied Technical Progress in the Constant Elasticity of Substitution Production Function", Review of Economics and Statistics.

28. Meade, J.E. (1976), "Una Teoría Neoclásica del Crecimiento Económico", F.C.E.

29. Nadal, A. (1977), "Instrumentos de Política Científica y Tecnológica en México", Colegio de México.

30. Nadiri, M.I. (1970), "Some Approaches to the Theory and Measurement of Total Factor Productivity: A Survey", Journal of Economic Literature.

31. Nelson, R. (1964), "Aggregate Production Functions and Medium Range Growth Projections", American Economic Review.

32. Nelson, R; Peck, M; y Kalachek, E. (1969), "Tecnología, Crecimiento Económico y Bienestar Público", Limuza.

33. Nelson, R; Winter, S; y Schuette, H. (1976), "Technical Change in an Evolutionary Model", Quarterly Journal of Economics, 40.

34. Pinto, A. (1976), "La Cepal y el Problema del Progreso Técnico", El Trimestre Económico, 43.

35. Rosenberg, N. (1979), "Economía del Cambio Tecnológico", Lecturas del F.C.E. #31.

36. Rosenberg, N. (1977), "Perspectives on Technology", Camb.

37. Rostow, W. (1961), "Las Etapas del Crecimiento Económico" F.C.E.

38. Salter, W. (1966), "Productivity and Technical Change", Cmabridge University Press (2a. Edición).

39. Samielson, M. (1965), "A Theory of Induced Innovation Along Kennedy-Weisacker Lines", Review of Economics and Statis-tics.

40. Scherer, F. (1971), "Industrial Market Structure and Econo mic Performance", Chicago: Rand McNally,

41. Sen, K. (1969), "La Selección de Técnicas", F.C.E

42. Solow, R. (1976), "La Teoría del Crecimiento", F.C.E.

43. Solow, R. (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function", Review of Economics and Statistics.

44. Solow, R. (1962), "Technical Progress, Capital Formation,and Economic Growth", Amer. Econ. Rev. 52(2).

45. Stewart, F. (1978), "Technology and Underdevelopment", Mc Millan Press.

46. Sylos, L. (1966), "Oligopolio Y Progreso Técnico", Barce.

47. Urquidi, V. y Nadal, A. (1979), "Algunas Observaciones acerca de la Teoría Económica y el Cambio Técnico", El Trimestre Económico, 46(182).

48. Uzawa, H. (1961), "Neutral Inventions and Stability of Growth Equilibrium", Review of Economics Studies, 28.

49. Vanek, J. (1966), "Towards a More General Theory of Growth with Technological Change", Economic Journal.