

PRODUCTIVIDAD INDUSTRIAL EN COLOMBIA: UNA APLICACIÓN DE NÚMEROS ÍNDICES

Carlos Pombo*

Universidad del Rosario, Facultad de Economía
capombo@clauastro.urosario.edu.co

RESUMEN

Este ensayo propone un marco analítico para la medición no paramétrica del cambio técnico a través del residuo de Solow bajo los supuestos tradicionales de competencia perfecta, retornos constantes, optimización de largo plazo de las firmas, y cambio técnico no incorporado. La medición de la productividad total de los factores (PTF) utiliza índices Translog para 94 sectores manufactureros, según la clasificación CIIU, durante 1970-1995. La aplicación toma en cuenta la corrección por mejoras en la calidad de los insumos. De esta forma se deja abierta la posibilidad de hacer ajustes al residuo cuando se elimina uno o varios de dichos supuestos. La medición de la oferta de factores se realiza con base en las hipótesis tradicionales. Por otra parte, se propone un ejercicio de inferencia para la medición de las tasas económicas de depreciación por sector industrial y la inferencia de precios de alquiler del capital por tipo de activo, todo con el fin de obtener medidas más rigurosas de las series de acervo del capital fijo.

Palabras claves: cambio técnico, productividad total de los factores, índices translog, industria colombiana

Clasificación JEL: L6, O3.

I. INTRODUCCIÓN

La medición de la *productividad total de los factores* (PTF) ha sido tradicionalmente considerada como un ejercicio empírico de contabilidad del crecimiento (*Growth Accounting*) en el cual el crecimiento del producto se descompone o se expresa en términos del crecimiento de los factores de producción [*inputs*]. La *contabilidad del crecimiento* no es en sí una teoría sobre el crecimiento económico, es más una herramienta para distinguir empíricamente las fuentes de cambio en el producto dados

* Este ensayo está basado en el Capítulo III de mi Tesis Doctoral en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

Tengo una especial deuda con Werner Baer, Hadi Esfahani, y Salim Rashid por sus comentarios, correcciones y sugerencias a versiones previas de este documento.

También agradezco los comentarios del editor Ricardo Rocha y de un evaluador anónimo.

una estructura de mercado, oferta de factores, y estado del conocimiento que en conjunto determinan los niveles de eficiencia económica.

La importancia de este ejercicio, desde los ensayos clásicos de Solow (1956) y (1957) sobre la función de producción y cambio técnico, radica en que bajo los supuestos tradicionales de i) competencia perfecta en ambos producto y mercado de factores; ii) retornos constantes a escala, iii) optimización de largo plazo de las firmas; iv) ausencia de externalidades en producción, y v) progreso técnico no incorporado en bienes de capital (*technical disembodiment*), la tasa neutral en el sentido de Hicks de cambio técnico es equivalente al residuo no explicado por el crecimiento de los factores.

El propósito de este ensayo es ofrecer un marco analítico para la medición *no paramétrica* del cambio técnico a través del residuo de Solow bajo los supuestos tradicionales. De esta forma, se deja abierta la posibilidad de hacer ajustes al residuo cuando se elimina uno o varios de dichos supuestos tal como se aplican en varios ensayos sobre cambio técnico en la Industria en Colombia que están compilados en Pombo (1999). La contribución de las mediciones propuestas en comparación con anteriores [p. e. Echavarría (1990), Chica (1996)] radica en i) la equivalencia metodológica entre las estimaciones de la PTF por números índice y las paramétricas a través de funciones de producción o costos; ii) la inclusión del efecto que tiene sobre la PTF los cambios en calidad de insumos, y iii) unas mediciones más rigurosas de los *inputs* agregados. Con este fin se desarrollan dos ejercicios. El primero presenta una estimación de tasas de depreciación económica, según el activo fijo y sector CIIU industrial. El segundo infiere el costo de uso del capital por tipo de activo, con el fin de construir un índice ponderado del capital basado en las diferentes clases de activos fijos. Como es de común conocimiento, las tasas de depreciación económica son un parámetro fundamental en la medición de series del acervo de capital y sus precios de alquiler (*rental prices*).

En esta dirección, el presente artículo contiene tres secciones. En la primera ilustra la derivación del índice *Translog* de la PTF cuando las mejoras en la calidad de insumos se tienen en cuenta. La segunda describe algunos aspectos metodológicos usados en la construcción de las series básicas de los factores de producción (capital, empleo, consumo intermedio, energía eléctrica), así como los ejercicios de medición de las tasas de depreciación y precios de alquiler del capital. La tercera describe los resultados de medición de la PTF y sus tendencias de largo plazo a través de los sectores manufactureros. Así mismo, dada la naturaleza del tema, los ejercicios se concentran en el aspecto de medición, dejando a un lado las extensiones sobre la inferencia de la tasa de cambio técnico introduciendo elementos de competencia imperfecta, y el análisis econométrico sobre los determinantes de la PTF. Por esta razón, el lector disculpará si el formato final del documento hace énfasis sobre los aspectos metodológicos.

II. EL MARCO ANALÍTICO BÁSICO: LOS ÍNDICES *TRANSLOG* DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES

El modelo neoclásico de crecimiento —*Solow Swan Ramsey Models*— ha sido el paradigma dominante tanto teórico como de medición de la tasa de cambio técnico. En

este sentido el modelo neoclásico predice al menos dos implicaciones teóricas importantes: i) la tasa de crecimiento en el estado estacionario se explica por *incrementos exógenos* en la tasa de cambio técnico, y ii) la existencia de una *convergencia condicional* de las economías cuando éstas se mueven hacia su equilibrio intertemporal.

El primer resultado —el cambio técnico exógeno— no es satisfactorio, porque no ofrece una explicación de la dinámica de largo plazo del progreso técnico. Más aún, cuando las primeras mediciones de la PTF arrojaban que más de un tercio del crecimiento económico se explicaba por el residuo [Solow (1958), Deninson (1962)] era a la vez una prueba de la limitación de la capacidad explicativa del modelo. Los ensayos de Arrow (1962), Uzawa (1965) y Nordaus (1969) fueron las contribuciones teóricas tal vez más importantes en los años sesenta que trataron de endogeneizar el crecimiento económico y el cambio técnico a través de variables como el aprendizaje en la acción (*learning by doing*), acumulación de capital humano, y actividades de innovación.

De forma paralela, los ejercicios de descomposición asociados a la *contabilidad del crecimiento* empezaron a introducir refinamientos en la medición del residuo buscando disminuir su tamaño, ya que parte del residuo estaba capturando elementos no observados que afectan ambos: la tasa de cambio técnico y el crecimiento económico. En esta dirección el trabajo de Jorgenson y Griliches (1967) introducen la corrección mediante cambios en la calidad de los insumos en la medición de la PTF.

Otras metodologías de descomposición de las ecuaciones de la PTF han incluido los gastos en *Investigación y Desarrollo* (I&D) como un *input* adicional o el efecto de convergencia (*catch up*) en el cual a las tasas domésticas de la PTF se le sustrae la tasa de crecimiento de PTF de USA¹. Durante los años setenta se desarrollaron metodologías más complejas de ecuaciones de descomposición del crecimiento de la PTF, gracias en parte, a los avances en la teoría de números índices [Diewert (1971, 1974, 1976), Hulten (1973)], y a nuevas aplicaciones de la teoría de la dualidad representadas en el desarrollo y estimaciones de formas funcionales flexibles de ambas funciones de costos y producción [Diewert (1971), Christensen *et al.* (1971)].

Estos refinamientos en la medición de la PTF se han enfocado en relajar algunos de los supuestos tradicionales detrás del modelo de Solow. Las correcciones por *markups*, economías de escala, utilización de capacidad, efectos regulatorios y cosechas de capital (*vintage capital*) han sido formalmente introducidos en las ecuaciones de descomposición del crecimiento de la PTF². Sin embargo, la deficiencia principal de estas mejoras metodológicas es que ellas no tratan ni solucionan el *problema de endogeneidad* del cambio técnico. En este sentido, el *residuo corregido* sigue siendo neutral en el sentido de Hicks y exógeno. Esta limitación, al menos desde el punto de vista de medición, viene de la inhabilidad de distinguir la extensión temporal que toma la difusión tecnológica que permite un acceso generalizado a las últimas invenciones.

1 Véase los trabajos de Abramovitz (1986) y Dowrick *et al.* (1989), para más detalles sobre el efecto de la convergencia tecnológica.

2 Una revisión de literatura muy completa sobre el tema se encuentra en los estudios editados por Cowing y Stevenson (1981), Lee (1991) y Nadiri *et al.* (1996).

En este sentido, la difusión tecnológica permite a las firmas acceder al proceso productivo más eficiente. Existen en la literatura dos enfoques predominantes relacionados con la medición del cambio técnico: i) aquel basado en números índices o no paramétrico, y ii) el paramétrico. El primero, se basa en la descomposición del producto entre fuentes sin asumir de forma *a priori* una forma funcional para representar la tecnología. Por el contrario, el enfoque paramétrico utiliza formas funcionales específicas para representar la tecnología y estimar a través de ellas ecuaciones paramétricas de cambio técnico.

El enfoque *no paramétrico* es el ejercicio de medición de la productividad total de los factores. Tradicionalmente el crecimiento de la PTF se ha interpretado como el residuo entre las tasas de crecimiento del producto y de los *inputs* de producción. Algebraicamente podemos expresar la anterior idea como:

$$\text{Sea } Y = A \cdot F(K, L, M, E) \text{ la función de producción}^3. \quad (1)$$

donde Y = producto; K = acervo de capital fijo; L = trabajo; M = materiales intermedios; E = energía eléctrica; A = índice de cambio técnico.

Tomando el diferencial total de (1) y arreglando términos

$$\frac{dY}{Y} = \frac{dA}{A} + \varepsilon_{YK} \cdot \frac{dK}{K} + \varepsilon_{YL} \cdot \frac{dL}{L} + \varepsilon_{YM} \cdot \frac{dM}{M} + \varepsilon_{YE} \cdot \frac{dE}{E} \quad (2)$$

donde ε_{y_j} es la elasticidad del factor al producto para todo *input* i .

La ecuación (2) describe las fuentes de crecimiento según sus fuentes: el crecimiento en los factores y del cambio técnico $[dA/A]$. El equilibrio del productor bajo competencia perfecta implica que se demandarán factores de producción hasta el punto donde la productividad marginal del factor se iguale a su precio real. Más aún, si la tecnología exhibe *retornos constantes a escala* (CRTS) junto con la anterior condición de equilibrio implica que las elasticidades de los factores son equivalentes a la participación observada de los pagos de cada factor el valor de la producción bruta, es decir

$$\frac{\partial Y}{\partial X_i} = \frac{P_{X_i}}{P_Y} \equiv \text{productividad marginal del factor } X_i, \quad (3)$$

$$\text{y } \varepsilon_{yx} = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot \frac{X_i}{Y} \equiv \text{elasticidad de } X_i \text{ con respecto al producto} \quad (4)$$

entonces se deduce de (3) y (4) que

$$\varepsilon_{yx} = \frac{P_{X_i}}{P_Y} \cdot \frac{X_i}{Y} \equiv s_{x_i} \quad (5)$$

3 La función de producción se llama neoclásica si satisface las condiciones de Inada: i) retornos marginales decrecientes en los factores - $F_i > 0$ y $F_{ii} < 0$, para cada $i = K, L, M, E$; ii) $F(\cdot)$ es homogénea de grado uno; iii) $\lim_{i \rightarrow \infty} F_i = 0$ y $\lim_{i \rightarrow \infty} F_i = \infty$ para todo $i = K, L, M, E$.

donde la condición de CRTS implica que $\sum_i s_{x_i} = 1$.

Si las condiciones (3) a (5) se mantienen entonces según Solow (1957) el crecimiento en la PTF es equivalente al cambio en el *índice de cambio técnico que es neutral en el sentido de Hicks*, dado por el término dA/A . Este residuo representa un desplazamiento ascendente de la función de producción manteniendo constante todos los precios de los factores. Tal desplazamiento representa un tipo particular de *progreso técnico*. En particular, dicho cambio es i) neutral y ii) no incorporado.

Neutralidad en el progreso tecnológico implica que las nuevas invenciones no ahorran relativamente un factor de producción específico. Sencillamente se produce más usando la misma cantidad de *inputs*. El progreso técnico no incorporado implica que los *inputs* son igualmente eficientes en el tiempo, es decir, no se toman por ejemplo cambios en la calidad de insumos. Por consiguiente, las variaciones en el índice de cambio técnico $-dA/A-$ son equivalentes al cambio en la PTF utilizando cualquier aproximación discreta del índice de cantidad *Divisia*⁴. De este modo, la ecuación (2) se puede reexpresar como:

$$\Delta TFP = \frac{dA}{A} = \frac{dY}{Y} - \sum_{i=1}^n S_i \cdot \frac{dX_i}{X_i} \quad (6)$$

donde $X_i =$ *input* i ; $S_i =$ ponderante del factor i en la producción bruta; $Y =$ producción bruta; $A =$ índice de cambio técnico Hicks neutral; y $\Delta TFP =$ cambio en la productividad total de los factores.

Una de las aproximaciones discretas al índice de *Divisia* más populares utilizadas en estudios de productividad es el cambio en el índice de cantidad de *Tornqvist-Theil*, que se define como

$$\ln \frac{X_t}{X_{t-1}} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (S_{it} + S_{it-1}) \cdot (\ln x_{it} - \ln x_{it-1}) \quad (7)$$

donde S_{it} es el ponderante de x_{it} en X observado en la fecha t ; x_{it} = la cantidad o volumen de cada componente i en X observados a la fecha t . Sustituyendo (7) en (6)

$$\ln \frac{A_t}{A_{t-1}} = \ln \frac{Y_t}{Y_{t-1}} - \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (S_{it} + S_{it-1}) \cdot (\ln x_{it} - \ln x_{it-1}) \quad (8)$$

La ecuación (8) describe el cambio en la PTF aproximado mediante el índice de *Tornqvist*. Este índice tiene la gran ventaja de ser un *exacto* [Diewert (1976)], lo cual significa que i) el índice es derivado de una función de producción y ii) la función de producción es flexible. La forma funcional detrás del índice de *Tornqvist* es la función

4 El índice de cantidad de *Divisia* para una variable $X = [x_1, \dots, x_n]$ entre el intervalo 0 a T se define como:

$$\ln \frac{X(T)}{X(0)} = \int_0^T \sum_{i=1}^n S_i \cdot \frac{dx_i}{x_i} dt$$

Para más detalles sobre las propiedades del índice de *Divisia*, véase Hulten (1973), Diewert (1974, 1976, 1981) y Chambers (1991).

de producción *translog* o *trascendental logarítmica*⁵ [Christensen *et al.* (1973)], que se define para n *inputs* como

$$\ln Y(X, t) = b_0 + \sum_i b_i \cdot \ln x_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j b_{ij} \ln x_i \ln x_j + b_t t + \frac{1}{2} b_{tt} t^2 + \sum_i b_{it} t \cdot \ln x_i \quad (9)$$

donde X = vector de *inputs*; t = tendencia temporal.

Las elasticidades factoriales asociadas a (9) son

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial \ln x_i} = V_{x_i} = b_i + \sum_j b_{ij} \ln x_j + b_{it} t \quad (10)$$

y la tasa de cambio técnico *primal* viene dada por

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = V_T = b_T + \sum_j b_{Tj} \ln x_j + b_{TT} t \quad (11)$$

Dado que la función *translog* es cuadrática, ésta se puede evaluar en términos discretos por medio del lema de la aproximación cuadrática (*quadratic approximation lemma*), es decir,

$$\text{Sea } h(Z) = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \cdot Z_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_{ij} Z_i Z_j \text{ la función cuadrática general} \quad (12)$$

se puede mostrar que

$$h(Z^1) - h(Z^0) = \frac{1}{2} \cdot [\nabla_Z h(Z^1) + \nabla_Z h(Z^0)]^T \cdot (Z^1 - Z^0) \quad (13)$$

donde $\nabla b(Z^1)$ denota el gradiente de $h(\cdot)$ evaluado en Z^1 y el superíndice T significa transposición⁶. La ecuación (13) se conoce como la aproximación cuadrática (12). Aplicando la anterior fórmula en la función de producción *translog* da

$$\ln Y(T) - \ln Y(T-1) = \frac{1}{2} \cdot \sum_i [V_{x_{it}} + V_{x_{it-1}}] \cdot [\ln x_{iT} - \ln x_{it-1}] + \frac{1}{2} [V_T + V_{T-1}] \quad (14)$$

Ahora bien, si se impone la restricción de retornos constantes en la tecnología y se asume competencia perfecta en los mercados de bienes y factores, entonces las elasticidades factoriales son equivalentes a la participación factorial en el valor en la producción bruta. Así, la ecuación (14) es algebraicamente equivalente a la ecuación (8). Por lo tanto, el índice de *Tornqvist* es una medida exacta de cambio técnico cuando la tecnología se asume que sigue una especificación *translog*. Este progreso técnico que se mide sigue siendo Hicks neutral bajo los supuestos tradicionales.

En relación con los *inputs* de capital, trabajo y materiales intermedios, se asume también que ellos siguen especificaciones *translog* en sus componentes. Bajo el supuesto de retornos constantes, el índice *translog* para cada *input* i viene dado por

5 La función *translog* es una aproximación de Taylor de segundo orden de cualquier función cuadrática en forma logarítmica. Una forma funcional se dice *flexible* cuando son aproximaciones diferenciales de segundo orden.

6 Para más detalles sobre la derivación del lema de la aproximación cuadrática, véase Diewert (1976) y Chambers (1991).

$$\ln \frac{K_t}{K_{t-1}} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^n (\theta_{jt} + \theta_{jt-1}) \cdot (\ln k_{jt} - \ln k_{jt-1}) \quad (15a)$$

$$\ln \frac{L_t}{L_{t-1}} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^n (\theta_{jt} + \theta_{jt-1}) \cdot (\ln l_{jt} - \ln l_{jt-1}) \quad (15b)$$

$$\ln \frac{M_t}{M_{t-1}} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^n (\theta_{jt} + \theta_{jt-1}) \cdot (\ln m_{jt} - \ln m_{jt-1}) \quad (15c)$$

donde θ_j denota la participación de cada componente j en el pago total del factor i .

Las ecuaciones (15a) - (15c) expresan la tasa de crecimiento agregado del capital, trabajo, materiales a través de la suma ponderada por su producto marginal de las tasas de crecimiento de cada uno de sus respectivos componentes. Este proceso de recomposición dentro de cada una de las categorías de *inputs* ha sido interpretado en la literatura de medición de la PTF, como una corrección por *mejoramientos en la calidad de los insumos* que surge o está incorporado al proceso mismo del cambio técnico. En este sentido se está tomando en cuenta los cambios en la eficiencia relativa entre los *sub-insumos* que pertenecen a una misma categoría de *input* causando efectos de sustitución entre ellos. Esta sustitución —cuando tecnológicamente es posible— se manifiesta entonces en cambios en los precios relativos, modificando así su participación en el pago total por el *input* agregado. Por ejemplo, si el rubro de materias primas se subdivide entre importadas y domésticas, se espera que una mayor demanda de materias primas importadas es reflejo, entre otras cosas, de cambios en su calidad, lo cual tendrá un efecto sobre la productividad global de la firma. Por lo tanto, si no se tiene en cuenta la corrección por cambios en calidad en los *inputs* puede sesgar las mediciones de la PTF⁷.

III. SOBRE LA OFERTA DE FACTORES

El uso de índices *translog* en la medición de la PTF como en los *inputs* agregados de producción necesita medidas precisas de la oferta de factores de producción por agrupaciones industriales. El tamaño de muestra para este estudio son 94 agrupaciones manufactureras, según la *Clasificación Internacional Industrial Uniforme* (CIIU), para el período 1970-1995. La información de las series básicas proviene de la *Encuesta Anual Manufacturera* (EAM). Esta base de datos se complementó con las estadísticas de *Cuentas Nacionales*, el cual provee con razonable nivel de desagregación un conjunto de deflatores implícitos para la producción característica y consumo intermedio por sector industrial. También contiene los deflatores para la inversión bruta por tipo de activo fijo.

A. Capital fijo

El concepto del *stock* de capital, siguiendo a Biorn (1989), es una medida de *capacidad* que representa el flujo de servicios del capital existente que son utilizados en

7 La corrección del residuo de Solow por cambios en la calidad de insumos se ha utilizado en diversos estudios de productividad. Entre ellos podemos mencionar el de Jorgenson et al. (1987) para los Estados Unidos, Elías (1990) para América Latina, y Young (1994) para el Sudeste Asiático.

la producción de bienes y servicios. El punto inicial para la medición del capital como *input* de producción es el de asumir que los flujos de los servicios de capital K_t^* son proporcionales al acervo existente de capital K_t en la fecha t , por alguna constante λ

$$K_t^* = \lambda \cdot K_t \quad (16)$$

Por otra parte, sea $B(s)$ la función de supervivencia (*survival fuction*) asociada al equipo de capital con una edad s . Esta función representa cuál es el *proceso de retiro* de las unidades de capital en el tiempo y la *pérdida de eficiencia* de las unidades que permanecen trabajando. La función $B(s)$ satisface las siguiente propiedades⁸:

$$0 \leq B(s) \leq 1; B'(s) < 0; s \geq 0; B(0) = 1; \lim_{s \rightarrow \infty} B(s) = 0;$$

Dejando $\lambda = 1$ en (16) implica que una unidad de *eficiencia de capital instalada* produce una *unidad de servicios de capital* a la fecha t . Por lo tanto, existe una equivalencia entre unidades del acervo de capital físico y las unidades de servicio de capital que se derivan de él. La anterior normalización significa

$$K(t, s) = B(s) \cdot I_{t-s} \quad (17)$$

La ecuación (17) dice que el número de unidades del capital de edad s en la fecha t es igual a la cantidad invertida de activos fijos que pertenecen a la *generación $t-s$* multiplicando su probabilidad de supervivencia. Simultáneamente la ecuación (17) representa el flujo de servicios del capital producidos en la fecha t por el equipo de capital de edad s . El siguiente paso es la agregación de las unidades del capital que pertenecen a diferentes *generaciones* o *cosechas* tecnológicas. La hipótesis que permite esta agregación es la *sustitución perfecta entre los servicios de capital que pertenecen a diferentes generaciones*. En otras palabras, desde la perspectiva del productor, el alquiler de una máquina de edad s y $s-1$ proveerá el mismo servicio, dígame en hora/unidades-producto, dado sus precios de alquiler. Este hecho caracteriza la acumulación del capital como no incorporado. La agregación de las unidades de capital para el intervalo $[0, T]$ implica

$$K(t) = \int_0^T K(t, s) = \int_0^T B(s) \cdot I(t-s) ds \quad (18)$$

Ahora, si $B(s)$ sigue una función exponencial⁹ de la forma $B(s) = e^{-\delta s}$; $s \geq 0$, la ecuación (18) se puede reescribir en términos discretos como

$$K_t = \sum_{n=0}^T (1-\delta)^n I_{t-n} \quad (19)$$

La ecuación (19) es la definición estándar del *stock* del capital en la contabilidad del Ingreso Nacional. El parámetro δ es la tasa de depreciación económica que representa los costos de reposición asociados a la deterioración que el equipo de capital experimenta con el envejecimiento. Expandiendo la fórmula (19) y simplificando

8 Véase Biom (1989) para más detalles.

9 Cuando la función de supervivencia $B(S)$, sigue una forma exponencial implica que la eficiencia del equipo de capital declina a una tasa constante en el tiempo.

$$K_t = (1 - \delta) \cdot K_{t-1} + I_t \quad (20)$$

La ecuación (20) es la fórmula del *inventario perpetuo*. Su utilización en la estimación del capital inicial K_0 registra la historia de las inversiones pasadas netas de depreciación. Infortunadamente para los propósitos de medición del capital, la fórmula (20) no se puede aplicar para la inferencia del *stock* inicial cuando se carecen de series históricas lo suficientemente largas. Una alternativa equivalente se deriva de la solución particular de la ecuación (20). En particular, se puede mostrar que la solución general de (20) es

$$K_t = \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \delta)^i \cdot I_{t-i} + b_0 (1 - \delta)^t \quad (21)$$

donde b_0 es una constante arbitraria. Evaluando $b_0 = K_0 - I_0 = 0$ en el período inicial $t = 0$ resulta

$$K_t = \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \delta)^i \cdot I_{t-i} \Rightarrow K_0 = \frac{I_0}{g + \delta} \quad (22)$$

donde g es la tasa histórica de crecimiento de la inversión hasta la fecha $t = 0$. La ecuación (22) fue la que utilizó Harberger (1969) en su primer estudio sobre la tasa del rendimiento del capital en Colombia, y que después su uso se generalizó en las mediciones de capital en diversos estudios sobre la industria en Colombia [Chica (1990), Echavarría (1990), Pombo y Cortés (1991), Bonilla (1994)].

Los algoritmos en (20) y (22) fueron los utilizados en la generación de las series de *stock* de capital para 94 sectores manufactureros según tipo de activo fijo –maquinaria y equipo, equipo de transporte, equipo de oficina, edificios y estructuras–. El año inicial fue 1970, año en el cual se publicó el tercer Censo Industrial y se adoptó la segunda revisión de la clasificación CIIU. Las tasas de depreciación económica utilizadas en la construcción de estas series fueron estimadas según sector industrial y tipo de activo fijo¹⁰. La descripción del ejercicio de estimación de estas tasas es el tema de la siguiente sección.

1. Tasa de depreciación económica en la industria: una aproximación empírica

La publicación de estudios sobre tasas de depreciación económica ha sido más bien limitada durante las últimas dos décadas. Tal vez los estudios más importantes sobre el tema siguen siendo los de Hulten *et al.* (1981), y Biorn (1989). A su vez las cifras oficiales de gastos de depreciación económica estimadas por el *Bureau of Economic Analysis* en USA, se basan en tasas de mortalidad y distribuciones de la edad del equipo durable y de las construcciones no residenciales calculadas en los años cincuenta para el sistema de estadísticas de Contabilidad Nacional [Musgrave *et al.* (1980)]. La tasa de depreciación económica tiene una relación dual con la eficiencia del equipo de capital, ya que representa los patrones de la *tasa de deterioro físico* que el capital

10 La tasa exponencial de crecimiento de la inversión bruta entre 1959-1969 según tipo de activo y sector industrial CIIU 3 dígitos fue el parámetro utilizado como g en la ecuación (22). A su vez la cifra de I_0 correspondió al dato de la inversión bruta de 1970.

experimenta con la edad. Si los patrones de depreciación asumen, por ejemplo, un decaimiento geométrico, entonces esta tasa se puede expresar como función de la vida útil, valor de salvamento y precios de usados del activo fijo de la siguiente forma

$$\delta = 1 - \left[\frac{P_t}{P_0} \right]^{1/T} \quad (23)$$

donde T = vida útil del activo; P_t = precio usado del activo para todo $t \leq T$, P_0 = precio de lista del activo nuevo. La fórmula (22) es una forma directa de expresar la eficiencia física del activo en términos de la tasa marginal de sustitución entre los activos nuevos y usados. Esta eficiencia declina en el tiempo a una tasa constante δ .

En Colombia las mediciones de ambos, el *stock* y el costo de uso del capital han supuesto tasas de depreciaciones cercanas a las sugeridas por los modelos de crecimiento: 5% para maquinaria y 2% para construcciones no residenciales [Barro y Sala-I-Martin (1995)], debido en gran parte a la carencia de registro de la información sobre precios de maquinaria usada y de otros activos fijos. La información sobre gastos de depreciación en la industria se registra en la EAM desde 1970, así como el valor en libros de los activos fijos. De esta forma se puede deducir una tasa de depreciación igual a

$\delta_j = \text{gastos por depreciación del activo } i \text{ en el sector } j / \text{valor en libros del activo } i \text{ del sector } j$.

El parámetro δ describe cuáles serían las *tasas contables* de depreciación. De hecho es de esperar que estas tasas, entre otros factores, estén influenciadas por el régimen tributario a través de deducciones, ganancias de capital, revalorización de activos y créditos tributarios, los cuales conjuntamente *sobrestiman* los verdaderos costos de reposición del capital fijo depreciable. Los cálculos de δ a partir de la información de la EAM se describen en el Cuadro 1 por tipo de activo fijo. Los valores de estas tasas claramente están asociadas a tasas contables con sistema de línea recta: 10% para maquinaria y equipo, 5% para construcciones y estructuras, 20% para equipo de transporte, y 15% para equipo de oficina. Estos valores implican una muy corta vida útil del capital a lo comúnmente observado en economías en vías de desarrollo. Por lo tanto, las tasas contables se tomarán para efectos de este ejercicio como el límite superior de las tasas económicas.

El problema en particular es el inferir un parámetro que se pueda utilizar como una *proxy* de las tasas económicas según activo fijo y sector industrial, con el objeto de capturar la heterogeneidad tecnológica del equipo de capital que existe entre las agrupaciones industriales. Por lo tanto, su cálculo no sigue ninguna metodología *formal* que involucre funciones de supervivencia de los activos fijos basadas en información sobre promedios de vida útiles y precios de usados de activos por cohorte [Biorn (1989)]. Más bien el ejercicio es tan sólo una *aproximación netamente empírica*, dada la información disponible: i) tasas contables de depreciación, y ii) deflatores del capital fijo por categoría de activo. La *ecuación de estimación* incluye como regresores los cambios presentes y rezagados en los precios relativos de los activos y la tendencia temporal de la siguiente forma

$$\delta_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot [\dot{P}_i / P_i]_t + \beta_3 \cdot [\dot{P}_i / P_i]_{t-1} + \beta_4 \cdot [\dot{P}_j / P_j]_t + \beta_5 \cdot [\dot{P}_j / P_j]_{t-1} + \varepsilon_t \quad (24)$$

donde P_i , P_j = índice del precio relativo del activo i y j , respectivamente; t = tendencia temporal; ε = error aleatorio con media cero y varianza constante σ^2 .

CUADRO 1 Industria manufacturera colombiana Tasas de depreciación observadas según activo fijo y sector CIIU 3-dígitos (Media geométrica, 1974-1994)									
CIIU	Maq. & Eq.	Const. & Estruct.	Eq. Transp.	Eq. Oficina	CIIU	Maq. & Eq.	Const. & Estruct.	Eq. Transp.	Eq. Oficina
311	12.1	4.5	20.0	13.9	354	11.0	4.8	14.5	9.3
312	15.3	5.8	19.9	14.7	355	17.7	4.7	23.5	16.2
313	16.3	8.4	29.6	18.1	356	12.5	3.9	19.1	12.0
314	15.3	4.7	20.7	13.9	361	15.4	5.2	17.5	13.3
321	11.8	3.8	19.7	13.9	362	16.7	9.7	23.5	14.0
322	9.8	2.6	14.8	10.9	369	10.4	3.8	24.8	14.6
323	10.6	3.5	18.4	11.6	371	11.5	6.4	21.1	14.7
324	11.7	3.7	14.2	14.6	372	11.8	4.8	20.5	13.2
331	10.3	3.8	16.1	13.1	381	12.1	3.6	19.0	12.6
332	8.7	2.4	14.2	10.0	382	10.7	3.4	18.5	12.3
341	13.8	4.9	23.0	14.1	383	13.5	4.3	21.1	14.6
342	10.4	4.2	17.9	11.7	384	12.2	4.3	11.6	13.8
351	12.8	5.4	14.9	13.2	385	12.0	4.2	15.7	11.7
352	11.8	4.7	20.5	13.7	390	14.5	3.6	19.9	13.9
353	11.5	4.4	14.7	12.6	IND	12.1	4.5	18.6	13.3

Fuente: Cálculos propios basados en Encuesta Anual Manufacturera (EAM) Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

En algunos casos la estimación de (24) mostró correlación serial en los residuos. Por lo tanto, se incluyó el valor rezagado de la tasa de depreciación. En este caso no existe una relación contemporánea entre el residuo y la variable independiente rezagada. La especificación (24) se vuelve entonces dinámica de la forma

$$\delta_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \delta_{i,t-1} + \beta_2 \cdot t + \beta_3 \cdot [\dot{P}_i / P_i]_t + \beta_4 \cdot [\dot{P}_i / P_i]_{t-1} + \beta_5 \cdot [\dot{P}_j / P_j]_t + \beta_6 \cdot [\dot{P}_j / P_j]_{t-1} + \varepsilon_t \quad (25)$$

El coeficiente de regresión β_0 en (25) representa la tasa constante de depreciación –contable– en ausencia de cambios en precios relativos de los activos nuevos, tendencia y relaciones dinámicas tales como los ajustes parciales entre las tasas observadas y las deseadas. A su vez la especificación en (25) constituye una estrategia empírica para endogeneizar una variable que por su naturaleza es afectada por el estado de la tecnología, expectativas de inversión y condiciones de mercado.

El paso final en la estimación de (25) fue introducir una función *Bax-Cox* para evaluar la prueba de hipótesis sobre la forma funcional. Entonces, la ecuación (25) se puede reescribir como:

$$\delta_i^\lambda = \beta_0 + \beta_1 \cdot \delta_{it-1} + \beta_2 \cdot t + \beta_3 \cdot [\dot{P}_i / P_i]_t + \beta_4 \cdot [\dot{P}_i / P_i]_{t-1} + \beta_5 \cdot [\dot{P}_j / P_j]_t + \beta_6 \cdot [\dot{P}_j / P_j]_{t-1} + \varepsilon_i \quad (26)$$

La estimación *Bax-Cox* en (26) encuentra el máximo de la función de tal que el valor de la variable transformada de δ sigue una distribución normal. En otras palabras, el valor de λ obtenido de la función *Bax-Cox* fija con valor de cero la simetría de la distribución de la variable transformada¹¹. La evaluación de linealidad es importante porque las tasas de depreciación pueden no tener una relación lineal con los precios relativos de los activos. Sea λ^* el valor que maximiza la función concentrada¹² de verosimilitud $L(\lambda)$ y L^* el valor de la función asociado a λ^* , entonces el procedimiento estándar para evaluar la linealidad ($\lambda^* = 1$) del test del *likelihood ratio* que se define como:

$$LRT = 2 \cdot [L^* - L(\lambda_i)] \sim \chi_1^2 \quad (27)$$

Las ecuaciones (25) - (27) resumen la estrategia seguida en la inferencia de δ . A su vez el coeficiente de regresión β_0 indica la tasa constante de depreciación –contable– cuando no existen cambios en el conjunto de las variables independientes. Consecuentemente se eligió como *proxy* de la tasa económica de depreciación el *límite inferior de la constante de regresión* β_0 bajo su intervalo de confianza con 95% de probabilidad. El Cuadro 2 resume las tasas observadas, estimadas y teóricas de depreciación por tipo de activo fijo y sector CIU industrial. El resultado más importante de este ejercicio estuvo en que la metodología propuesta se ajustó bien para los casos de maquinaria, estructuras y equipo de oficina. En particular, el límite inferior fue elegido en 17 de 29 sectores para cada uno de ellos. En estos casos el límite inferior resultó un valor medio entre las tasas teóricas y las contables observadas. Para los casos restantes, este límite inferior o en su defecto la constante de regresión β_0 se promediaron con las tasas teóricas¹³. Por el contrario, las estimaciones para equipo de transporte fueron menos satisfactorias. El límite inferior, o en su defecto la constante de regresión β_0 se eligió tan sólo en 10 sectores.

En resumen, el ejercicio propuesto fue satisfactorio en sus resultados. De esta forma, su utilización captura de forma directa la heterogeneidad del equipo de capital

11 Véase el documento original [Pombo (1999), Cap. III] para una explicación más detallada sobre la utilización de la función *Box-Cox* en el presente ejercicio. La derivación completa de la función concentrada de verosimilitud asociada con el residuo $\varepsilon = Y^{(i)} - X'b$ se encuentra en Spitzer (1982) y Judge et al. (1988).

12 La función concentrada de verosimilitud se define

$$L(\lambda) = -\frac{N}{2} \ln(2\pi) - \frac{N}{2} \ln \hat{\sigma}^2(\lambda) + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^N \ln Y_i$$

donde $\hat{\sigma}^2 = (y^{(\lambda)} - X\hat{b})' \cdot (y^{(\lambda)} - X\hat{b})$; $\hat{b} = (X'X)^{-1} X'y$; son los estimadores condicionales de la función de máxima verosimilitud.

13 Especialmente para los casos en que los límites inferiores de β_0 arrojaron valores negativos.

a través de los sectores industriales. También es importante resaltar que las variaciones en precios relativos son regresores robustos en todos los casos de la tasa contable δ , que de forma indirecta también están influenciando las tasas económicas —no observadas— de depreciación.

CUADRO 2													
Industria manufacturera colombiana													
Tasas observadas y estimadas de depreciación, según sectores CIIU 3-dígitos													
Maquinaria y equipo							Equipo de transporte						
CIIU	Media geom. 74-94	β_0	Intervalo 95%		Tasa teórica	Tasa final	CIIU	Media geom. 74-94	β_0	Intervalo 95%		Tasa teórica	Tasa final
			Bajo	Alto						Bajo	Alto		
311	12.1	3.3	-1.6	8.2	5.0	4.1	311	20.0	6.2	-2.5	14.8	10.0	15.0
312	15.3	8.6	6.2	23.4	5.0	6.2	312	19.9	14.5	14.5	22.4	10.0	14.5
313	16.3	14.9	3.2	26.6	5.0	3.2	313	29.6	18.1	9.0	31.4	10.0	9.0
314	15.3	18.3	14.4	23.0	5.0	9.7	314	20.7	24.6	21.2	28.1	10.0	15.6
321	11.8	16.3	8.9	31.8	5.0	8.9	321	19.7	23.9	20.3	27.6	10.0	15.1
322	9.8	12.7	11.2	14.2	5.0	8.1	322	14.8	17.3	15.8	18.7	10.0	12.9
323	10.6	15.1	12.9	19.8	5.0	8.9	323	18.4	18.0	15.4	20.7	10.0	15.4
324	11.7	15.6	13.1	20.0	5.0	9.1	324	14.2	14.9	14.3	15.6	10.0	14.3
331	10.3	18.9	10.0	27.6	5.0	10.0	331	16.1	21.4	15.9	26.9	10.0	13.0
332	8.7	6.0	3.1	8.8	5.0	6.0	332	14.2	16.3	14.8	17.8	10.0	12.4
341	13.8	22.4	16.9	27.9	5.0	10.9	341	23.0	31.5	28.0	34.9	10.0	16.5
342	10.4	12.4	10.7	14.0	5.0	7.9	342	17.9	20.1	18.7	21.3	10.0	14.4
351	12.8	5.6	-1.5	12.6	5.0	5.6	351	14.9	10.6	7.0	14.3	10.0	7.0
352	11.8	4.5	-1.7	10.7	5.0	4.5	352	20.5	17.1	8.5	25.8	10.0	8.5
353	11.5	12.1	9.7	15.0	5.0	9.7	353	14.7	18.1	16.4	19.8	10.0	13.2
354	11.0	8.7	6.9	11.6	5.0	6.9	354	14.5	13.0	8.9	17.1	10.0	8.9
355	17.7	23.4	13.9	42.0	5.0	13.9	355	23.5	18.1	9.9	31.9	10.0	9.9
356	12.5	10.6	1.7	19.4	5.0	10.6	356	19.1	22.8	21.5	23.9	10.0	15.7
361	15.4	16.9	15.2	18.7	5.0	10.1	361	17.5	26.1	21.3	31.0	10.0	15.6
362	16.7	26.3	20.2	35.1	5.0	12.6	362	23.5	30.2	25.5	34.8	10.0	17.8
369	10.4	15.6	12.6	20.0	5.0	8.8	369	24.8	9.1	-1.6	19.8	10.0	9.1
371	11.5	8.9	6.1	13.7	5.0	6.1	371	21.1	9.4	0.1	18.8	10.0	9.4
372	11.8	11.5	10.9	12.1	5.0	10.9	372	20.5	24.3	19.5	32.3	10.0	14.7
381	12.1	11.9	7.5	22.2	5.0	7.5	381	19.0	23.2	20.0	26.5	10.0	15.0
382	10.7	9.3	3.9	14.7	5.0	3.9	382	18.5	24.8	21.7	27.9	10.0	15.8
383	13.5	14.2	12.4	16.1	5.0	12.4	383	21.1	16.3	5.5	27.0	10.0	7.8
384	12.2	13.6	12.0	15.1	5.0	8.5	384	11.6	6.4	4.7	9.2	10.0	7.3
385	12.0	11.2	10.9	13.5	5.0	10.9	385	15.7	19.3	16.5	46.3	10.0	13.2
390	14.5	15.3	8.1	31.4	5.0	8.1	390	19.9	21.1	19.3	23.0	10.0	14.7
ind						7.7	ind						11.9
311	4.5	4.5	4.1	4.8	2.0	4.1	311	13.9	7.2	2.1	12.4	7.5	7.2
312	5.8	7.3	5.7	8.9	2.0	5.7	312	14.7	17.3	14.5	20.2	7.5	11.0
313	8.4	4.1	2.7	6.1	2.0	2.7	313	18.1	15.0	12.2	18.9	7.5	12.2
314	4.7	6.1	2.3	9.8	2.0	2.3	314	13.9	9.8	7.7	13.6	7.5	7.7
321	3.8	5.9	3.9	14.8	2.0	2.9	321	13.9	14.7	13.2	16.1	7.5	10.4
322	2.6	1.6	0.4	2.8	2.0	1.6	322	10.9	17.6	9.6	17.6	7.5	9.6
323	3.5	4.5	3.8	5.2	2.0	2.9	323	11.6	12.3	11.6	13.1	7.5	9.6
324	3.7	2.1	1.8	2.6	2.0	1.8	324	14.6	11.4	8.3	18.9	7.5	8.3
331	3.8	4.1	3.1	6.8	2.0	3.1	331	13.1	13.3	11.7	14.9	7.5	11.7

Continúa

(Continúa)

(Continuación Cuadro 2)

Maquinaria y equipo							Equipo de transporte						
CIIU	Media geom. 74-94	β_0	Intervalo 95%		Tasa teórica	Tasa final	CIIU	Media geom. 74-94	β_0	Intervalo 95%		Tasa teórica	Tasa final
			Bajo	Alto						Bajo	Alto		
332	2.4	2.4	2.2	2.6	2.0	2.2	332	10.0	10.0	9.3	10.7	7.5	9.3
341	4.9	5.0	3.8	6.3	2.0	3.8	341	14.1	17.8	15.8	20.3	7.5	11.6
342	4.2	4.5	4.2	4.8	2.0	3.1	342	11.7	na	na	na	7.5	9.6
351	5.4	3.9	1.2	6.6	2.0	1.2	351	13.2	13.3	12.6	14.1	7.5	12.6
352	4.7	3.0	1.2	4.8	2.0	1.2	352	13.7	10.3	8.0	14.4	7.5	8.0
353	4.4	4.0	3.0	5.4	2.0	3.0	353	12.6	12.7	10.5	15.3	7.5	10.5
354	4.8	4.3	3.1	6.1	2.0	3.1	354	9.3	7.3	3.6	11.0	7.5	7.3
355	4.7	4.0	-0.1	8.0	2.0	4.0	355	16.2	4.0	-4.5	12.5	7.5	11.9
356	3.9	4.4	4.0	4.9	2.0	3.0	356	12.0	13.5	12.0	16.0	7.5	9.8
361	5.2	4.6	3.4	5.7	2.0	3.4	361	13.3	na	na	na	7.5	10.4
362	9.7	17.4	11.6	26.9	2.0	6.8	362	14.0	13.7	12.4	15.0	7.5	12.4
369	3.8	0.8	-0.4	1.9	2.0	0.8	369	14.6	9.2	2.4	16.0	7.5	9.2
371	6.4	5.1	4.5	5.7	2.0	4.5	371	14.7	6.2	0.8	11.5	7.5	6.2
372	4.8	4.8	4.2	5.4	2.0	4.2	372	13.2	10.6	8.6	12.7	7.5	8.6
381	3.6	4.4	3.7	5.0	2.0	2.9	381	12.6	8.3	2.4	14.1	7.5	8.3
382	3.4	4.1	3.7	4.5	2.0	2.8	382	12.3	14.0	12.5	15.4	7.5	10.0
383	4.3	5.3	4.6	5.9	2.0	3.3	383	14.6	15.0	13.8	16.1	7.5	13.8
384	4.3	4.4	3.9	4.9	2.0	3.9	384	13.8	13.3	12.4	14.5	7.5	12.4
385	4.2	2.8	1.7	3.8	2.0	1.7	385	11.7	8.8	6.9	12.9	7.5	8.8
390	3.6	3.8	3.1	4.4	2.0	3.1	390	13.9	9.0	1.7	16.3	7.5	9.0
ind						3.0	ind						9.9

Fuente: Cálculos propios basados en EAM-DANE.

2. El costo de uso del capital

La agregación del *input* de capital fijo a través de su índice *translog* requiere inferir precios de alquiler del capital, con el fin de calcular los ponderadores por tipo de activo en el *stock* de total capital. Desde el artículo clásico de Jorgenson y Hall (1967), el *costo de uso del capital* (CUK) se ha interpretado como un precio de alquiler del capital. En este sentido el CUK se considera como el precio de una unidad instalada de capital fijo, en la misma forma que los salarios representan el precio de alquiler de una unidad de trabajo. Sin embargo, el CUK es un precio no observable en el mercado, debido a que el costo de uso representa el costo de oportunidad de la firma entre adquirir el equipo de capital o rentarlo. En consecuencia, el CUK tiene una interpretación de *precio sombra* que se deriva de las condiciones de optimización de las firmas para la acumulación del capital.

Sin entrar en detalles sobre la derivación básica de la fórmula del CUK y sus principales extensiones¹⁴, ésta corresponde a la solución general de optimización dinámica de la función del flujo de caja de la firma, dada la tecnología y la ecuación de acumulación del capital. La fórmula estándar del CUK viene definida por

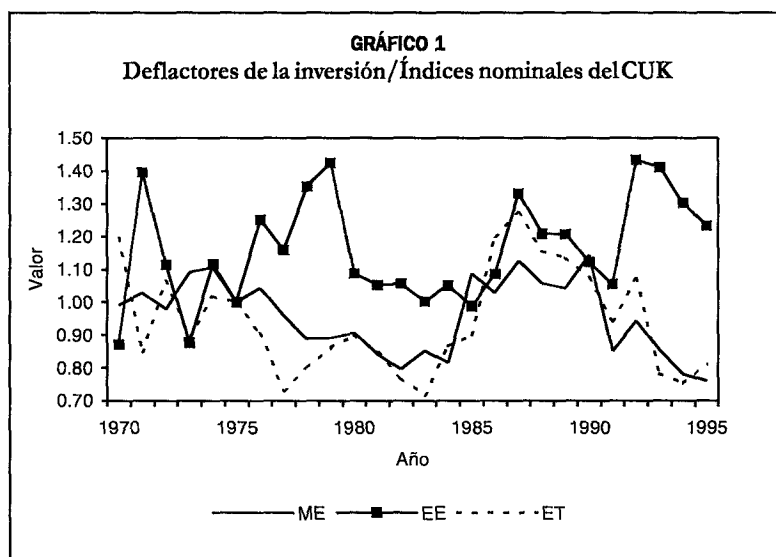
14 Para más detalles, véase Auerbach (1983, 1990) y el documento original [Pombo (1999), Cap. III].

$$UCK = F_K = \frac{g}{p} \cdot (i + \delta - \frac{g}{g}) \cdot \frac{(1 - k - \tau \cdot z)}{1 - \tau} \quad (28)$$

donde p = índice de precios del producto, g = índice de precios de los bienes de inversión, i = tasa nominal de interés, τ = tasa de impuesto a la renta, δ = tasa económica de depreciación, κ = créditos tributarios por inversión, y z = valor presente por deducciones de depreciación.

La fórmula (28) define el precio sombra del capital al que la productividad marginal del capital debe igualarse. Este precio tiene tres componentes: i) el precio relativo de los bienes de capital $[g/p]$; ii) la tasa real de descuento $[i + \delta + dg/g]$, y iii) el efecto tributario $[1 - k - \tau \cdot z]/[1 - \tau]$.

La suma de estos componentes definen entonces cuál es el costo de oportunidad, para la firma, del capital instalado. La medición del CUK para el total de la industria manufacturera según clase de activo fijo se presenta en el Cuadro 3 para el período 1970-1995. A su vez el Gráfico 1 muestra el radio entre el deflactor de inversión bruta y el índice nominal del CUK por tipo de activo fijo. Dos comentarios se destacan de estos resultados. Primero, la tendencia en los índices del CUK se explica por los cambios en la tasa real de descuento, debido a las variaciones en los precios de los bienes de capital, más que en variaciones de la tasa nominal de interés. Esta fluctuación está correlacionada en el caso de los activos transables con el ciclo en la tasa real de cambio y modificaciones en la política de protección arancelaria desde mediados de los años setenta.



Notas: ME = Maquinaria y equipo, EE = Energía eléctrica, ET = Equipo de transporte
Fuente: Cálculos propios.

CUADRO 3
Industria manufacturera colombiana
Costo de uso del capital
 (Promedios por períodos)

Años	Maquinaria				Edificios y estructuras			
	Tasa descuento real	Precios relativos	Efecto tributario	Costo uso K %	Tasa descuento real	Precios relativos	Efecto tributario	Costo uso K %
1970-1974	0.091	1.02	1.19	11.2	0.005	1.00	1.27	0.1
1975-1979	0.125	0.97	1.26	15.2	0.002	1.17	1.37	0.3
1980-1984	0.183	0.90	1.26	20.7	0.156	1.25	1.36	26.5
1985-1989	0.063	1.03	1.27	8.3	0.059	1.19	1.37	9.4
1990-1995	0.218	0.93	1.26	25.6	0.075	1.37	1.37	14.1
1970-1995	0.134	0.98	1.25	16.0	0.061	1.20	1.35	10.4

Años	Maquinaria				Edificios y estructuras			
	Tasa descuento real	Precios relativos	Efecto tributario	Costo uso K %	Tasa descuento real	Precios relativos	Efecto tributario	Costo uso K %
1970-1974	0.144	1.05	1.15	17.2	0.110	1.02	1.19	13.5
1975-1979	0.166	0.91	1.20	17.6	0.143	0.97	1.26	17.4
1980-1984	0.202	0.89	1.20	21.3	0.201	0.90	1.25	22.7
1985-1989	0.069	1.11	1.20	9.4	0.079	1.03	1.26	10.5
1990-1995	0.257	1.02	1.20	31.1	0.237	0.93	1.26	27.8
1970-1995	0.168	1.00	1.19	19.6	0.152	0.98	1.25	18.2

Fuente: Estimaciones propias.

Las tasas de impuesto a la renta para sociedades anónimas y limitadas se tomaron de Cárdenas y Olivera (1995). Las tasas de interés de los CDT a 90 días se tomaron de Banco de la República [1980-1995] y de Fainboim (1990) [1974-1979].

Segundo, estas estimaciones son inferiores a las previas que se han hecho para el total de la economía, lo cual refleja en forma parcial el ajuste hecho por las deducciones de depreciación¹⁵.

B. Inputs trabajo, materiales intermedios y energía eléctrica

Como en el caso del acervo de capital, la medición más apropiada del trabajo como *input* es el flujo de servicios derivados de él. La medición tradicional de estos flujos en estudios de productividad¹⁶ asume una proporción fija del total de horas trabajadas, es decir

¹⁵ La edición particular del CUK tuvo los siguientes elementos. Primero, la tasa anual efectiva de los CDT a 90 días se tomó como *proxy* de i . Segundo, el parámetro k se asumió como cero, ya que no existe información disponible sobre esta variable. Tercero, tasa impositiva t es un promedio entre las tasas de retención para las sociedades anónimas y de responsabilidad limitada. Esta serie se tomó de Cárdenas y Olivera (1995). Cuarto, se simuló el valor presente por deducciones por depreciación, con base en la vida útil de los activos implícita en las tasas estimadas de depreciación económica. Quinto, el precio relativo de los bienes de capital es el ratio entre el deflactor de la inversión del activo y el índice de precios al productor.

¹⁶ Véase, por ejemplo, el estudio de Jorgenson (1987) y Young (1994).

$$L_i(T) = \lambda \cdot H_i(T) \quad (29)$$

La variable de horas trabajadas refleja cuál es la intensidad laboral a lo largo del ciclo económico como una medida directa de utilización del trabajo. Se asume, por otra parte, que el trabajo como *input* sigue una especificación *translog* en cada uno de sus componentes. Así, el trabajo usualmente se descompone y clasifica según educación, sexo u ocupación. Cada componente se pondera por su tasa de salario. Infortunadamente, la EAM no registra información sobre horas trabajadas. Por esta razón, se utilizó el *número de empleados*. El trabajo como factor de producción se homologó a través de las encuestas manufactureras y se dividió en tres tipos de categorías ocupacionales: i) empleados administrativos, ii) técnicos y iii) obreros.

El empleo temporal está incluido desde 1985, año en el cual la EAM empezó a registrar esta información. Éste se convirtió en un modo alternativo de contratación laboral, representando en promedio un 10% del empleo manufacturero. Cada categoría fue ponderada por su *compensación total* definida como la suma de salarios y prestaciones sociales.

En relación con los materiales intermedios, éstos se dividieron en tres categorías: i) materias primas domésticas; ii) materias primas importadas, y iii) costos indirectos de fabricación. La última categoría incluye gastos de consumo intermedio en *items* como compras de repuestos y accesorios, trabajos de mantenimiento, subcontratación industrial, y consumo de lubricantes y combustibles. Los anteriores elementos fueron ponderados a través de un índice *translog* de cantidades para inferir el *valor de los materiales intermedios*. Esta variable se define entonces como las compras netas de inventarios de materias primas más los costos indirectos de fabricación.

Por último la variable usada para el *input* de energía eléctrica fue el *consumo de electricidad*, el cual se define en la EAM como las compras más la generación propia menos las ventas de electricidad.

C. Los ponderadores agregados de los factores

El paso final antes de aplicar el índice *translog* es la inferencia de la participación de los pagos factoriales en la producción bruta. Para satisfacer la condición de *adición* en teoría de la producción, en la cual el valor de la producción es equivalente a la suma de todos los pagos factoriales¹⁷, la producción bruta debe valorarse a precios del productor. Esto requiere la inclusión de impuestos indirectos causados por la compra de los bienes intermedios y la exclusión de estos impuestos que resultan de la venta de bienes finales¹⁸.

17 Esto es equivalente al teorema de Euler porque la función de producción se asume homogénea de grado uno.

18 La información sobre impuestos y subsidios de la encuesta es incompleta. Ésta sólo se registró de 1981 a 1991. Las series de impuestos se vuelve inconsistente con el nivel de desagregación por sectores industriales. Por lo tanto, la producción bruta no fue ajustada por impuestos. Según Cuentas Nacionales, los impuestos indirectos netos son un 9.4% del PIB. Esto implica que los ponderadores de los factores no experimentarán mayor cambio

Los pagos factoriales son iguales a la suma de los pagos salariales, gastos en materiales intermedios, compra de energía y gastos por servicios de capital. Bajo el supuesto de retornos constantes, la participación del capital resulta equivalente a uno menos la suma de los ponderadores del trabajo, materiales intermedios y energía. Para efectos ilustrativos el Cuadro 4 resume el promedio observado de la producción bruta, oferta de factores, y números de establecimientos encuestados para el total de la industria.

CUADRO 4 Total industria manufacturera - Resumen de las principales variables (Unidades y millones de US dólares a precios de 1995)					
Variables	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1995
Número de plantas	5,998	6,570	6,643	6,978	7,578
Producción bruta	14,663	21,641	23,610	25,222	28,505
Materiales	8,541	12,579	14,028	15,181	17,431
Trabajo (empleados)	391,037	486,218	488,567	520,929	625,032
Stock de capital	6,863	9,702	11,947	12,448	14,079
Electricidad (KWH Mill)	3,435	4,572	5,714	7,325	8,573

Fuente: EAM-Dane y cálculos propios.

Notas: Las series de valor originales estaban en pesos constantes de 1975. Éstas se convirtieron en dólares por la tasa de cambio oficial de 1975 basado en promedios mensuales, y transformadas en dólares nominales usando el índice de ventas al por mayor de USA.

IV. LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES

En esta sección se presenta el ejercicio de contabilidad del crecimiento, el cual descompone el crecimiento del producto entre sus fuentes. Esta medición es el punto de partida para el estudio y análisis de las tendencias y fluctuaciones del crecimiento del producto y el cambio técnico.

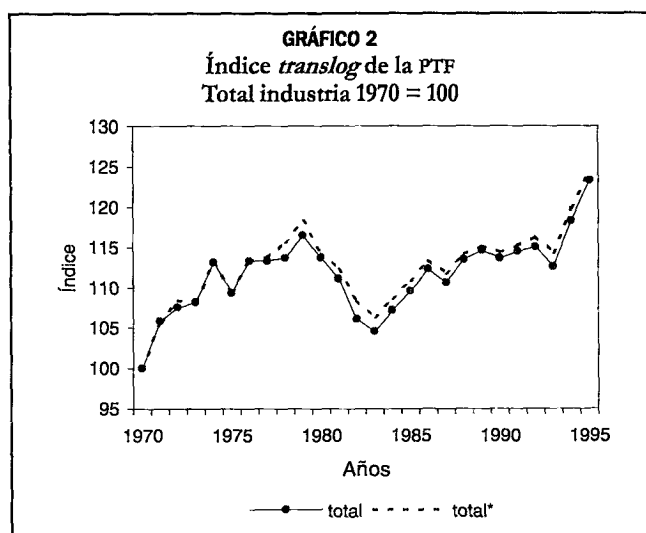
La descomposición del crecimiento provee algunos hechos estilizados sobre las fuentes de crecimiento, tales como, cuál es la contribución al crecimiento en el producto de la acumulación de capital, el crecimiento del trabajo o el cambio técnico. Al mismo tiempo, la contabilidad del crecimiento no provee una teoría de la racionalidad económica de la innovación y el cambio técnico que esté en capacidad de ofrecer elementos explicativos sobre los mecanismos que señalan las tendencias de largo plazo.

Un hecho estilizado derivado de los estudios de productividad en la industria para los países de la OCDE ha sido la desaceleración (*slowdown*) en la productividad durante los años setenta. Para los Estados Unidos la tasa de crecimiento en la PTF para manufacturas estuvo por debajo de las tasas observadas durante los años cincuenta y sesenta.

como consecuencia de este ajuste. Por su parte, las series de compras de materias primas están registradas en la Encuesta a precios de mercado.

Esta desaceleración estuvo asociada a factores tales como la obtención de rendimientos decrecientes en los gastos de I&D, la reducción en los niveles de la utilización de la capacidad instalada, el choque petrolero, el cierre de la brecha tecnológica entre Europa Occidental y Japón con los Estados Unidos al final de los años sesenta.

La productividad industrial en Colombia muestra una tendencia similar. El Cuadro 5 describe las tasas del crecimiento del producto, factores, el residuo (PTF), y su contribución al crecimiento del producto. El crecimiento en la productividad empezó a exhibir una desaceleración desde mediados de los setenta volviéndose negativo para 1980. Esta crisis de la productividad duró cinco años, proceso que, como mostraremos estuvo asociado con una sobre-inversión en capital fijo junto con un estancamiento en la demanda agregada de la economía. La recuperación empezó en 1985 y desde entonces el sector ha experimentado ganancias moderadas alrededor de 1.3% por año hasta 1995. El desempeño global en 25 años puede calificarse como modesto pero positivo, en donde la productividad total de los factores explica un 20% del crecimiento industrial. Con excepción de la primera mitad de los años ochenta, el índice *translog* de la PTF para el total industrial muestra una sostenida tendencia positiva (Gráfico 2). Dividiendo el sector por factor intensivo¹⁹, se observa que las industrias intensivas en tecnología y trabajo no clasificado empujaron la productividad industrial (Gráfico 3). Las industrias intensivas en recursos naturales mostraron un estancamiento en el índice de la PTF. Por otra parte, el Cuadro 6 compara las tasas de crecimiento entre Colombia, los Estados Unidos, Japón y los NICs asiáticos, en el cual los cálculos de la PTF se basan en índices *translog*.



Nota: Total* = excluye refinerías de petróleo.
Fuente: Cálculos propios con base en EAM-DANE.

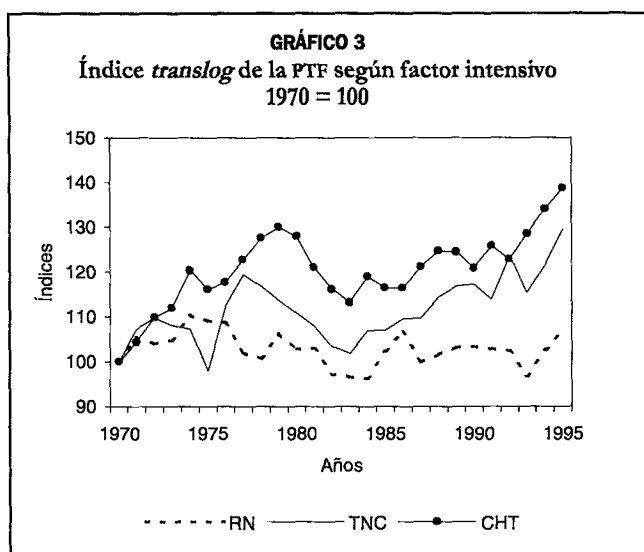
19 La equivalencia entre las clasificaciones *ciu* y por factor intensivo fue adaptada de una codificación sugerida por el Informe del BID de 1992.

CUADRO 5 Industria manufacturera colombiana Productividad total de los factores y sus componentes						
Años	Tasas de crecimiento %					
	Producto	Capital fijo	Trabajo	Materiales Interm.	Energía eléctrica	PTF
1970-1974	9.2	6.0	5.4	6.2	10.1	3.1
1975-1979	5.5	4.3	2.6	5.9	4.2	0.6
1980-1984	0.4	4.1	-2.2	1.6	5.6	-1.6
1985-1989	4.8	2.6	3.7	3.9	3.8	1.4
1990-1995	4.2	4.1	1.7	2.4	2.8	1.3
1970-1995	4.6	4.1	2.1	3.8	5.0	0.9
Ponderantes factores						
1970-1974		0.319	0.133	0.543	0.006	
1975-1979		0.349	0.121	0.522	0.007	
1980-1984		0.314	0.132	0.546	0.008	
1985-1989		0.310	0.132	0.549	0.009	
1990-1995		0.355	0.113	0.523	0.009	
1970-1995		0.331	0.125	0.536	0.008	
Contribución al crecimiento						
1970-1974		0.21	0.08	0.37	0.01	0.34
1975-1979		0.27	0.06	0.55	0.01	0.11
1980-1984		3.69	-0.81	2.54	0.13	-4.56
1985-1989		0.17	0.10	0.44	0.01	0.28
1990-1995		0.34	0.05	0.30	0.01	0.31
1970-1995		0.30	0.06	0.45	0.01	0.19

Fuente: Cálculos propios con base en la EAM

CUADRO 6 Crecimiento en la PTF Una comparación internacional (Porcentajes)						
Años	USA	Japón	Corea	Singapur	Taiwan	Colombia
1970-1975			5.20			1.79
1975-1980	0.16	1.31	2.69			0.07
1970-1980			3.95	-0.9	-0.1	1.28
1981-1990	1.07	1.04	3.43	-1.1 ^a	2.5 ^a	0.00
1991-1995						1.64

Metodología: Cálculos basados en índices *translog*.
 Fuentes: Corea, Japón y los Estados Unidos: Nadiri (1996); Corea (70-75), Singapur y Taiwan: Young (1994)



Notas: NR = Recursos naturales, TNC = Trabajo no calificado,
CHT = Capital humano y tecnología

Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.

Estas mediciones muestran que las tasas de productividad en Colombia fueron menores que las observadas en Corea y Japón, pero muy cercana a la observada en los Estados Unidos durante la segunda mitad de los años setenta. Sin embargo, con excepción de Singapur, el desempeño de la PTF en los años ochenta fue en Colombia sensiblemente inferior a la de los países contrastados.

Los Cuadros 7 y 8 ofrecen una visión más completa de las ganancias en productividad a través de los sectores industriales. La primera replica el ejercicio de descomposición del crecimiento según CIIU dos dígitos. La segunda describe el crecimiento de la PTF de los 25 sectores industriales más dinámicos y los 25 de mayor estancamiento. Estas medidas corroboran el resultado general en el cual el cambio técnico en la Industria ha estado liderado por las industrias de mayor complejidad tecnológica para el período 1970-1995. En particular, 12 sectores de los 25 más dinámicos son productores de maquinaria eléctrica y no eléctrica, bienes de consumo durable, repuestos para maquinaria industrial y productos químicos. También se observaron mejoramientos en productividad en manufacturas de textiles, confecciones y productos de cuero. Siete de estos sectores están dentro de la muestra de los 25 sectores dinámicos.

Por otra parte, las industrias intensivas en recursos naturales permanecieron estancadas [Cuadro 8]. Las industrias de alimentos, bebidas, tabaco, madera, productos de corcho e industrias diversas²⁰ representan 18 de los 25 sectores no dinámicos en términos del crecimiento en la PTF. Tomando en cuenta el desarrollo industrial en

²⁰ Las industrias diversas según la Clasificación CIIU segunda revisión están formadas por sectores no clasificados, tales como instrumentos musicales, artículos deportivos, y juguetes.

Colombia, estos resultados sugieren que las industrias entrantes más nuevas tuvieron un mejor desempeño en comparación con los sectores tradicionales. Varios de estos sectores fueron fundados en los años cincuenta como industrias nacientes para sustituir bienes intermedios industriales y de capital.

CUADRO 7 Industria manufacturera colombiana Productividad total de los factores y sus componentes según CIIU 2-dígitos												
CIIU	70-74	75-79	80-84	85-89	90-95	70-95	70-74	75-79	80-84	85-89	90-95	70-95
Crecimiento producto						Crecimiento energía eléctrica						
31	0.0589	0.0729	-0.0041	0.0486	0.0357	0.0415	0.0592	0.0630	0.0059	0.0384	0.0519	0.0434
32	0.0822	0.0328	-0.0369	0.0501	0.0208	0.0274	0.0689	0.0296	-0.0400	0.0535	0.0149	0.0232
33	0.0428	-0.0022	-0.0045	0.0567	0.0818	0.0365	0.0467	-0.0144	0.0457	0.0756	0.0179	0.0331
34	0.1112	0.0527	0.0464	0.0362	0.0670	0.0609	0.1152	0.0141	0.0784	0.0341	0.0752	0.0618
35	0.1280	0.0429	0.0302	0.0519	0.0508	0.0577	0.1678	0.0383	0.1007	0.0418	-0.0007	0.0628
36	0.1214	0.0272	0.0224	0.0646	0.0650	0.0579	0.1053	0.0430	0.0297	0.0459	0.0332	0.0485
37	0.1000	0.0395	0.0367	0.0707	0.0030	0.0461	0.1044	0.0292	0.1884	0.0119	0.0217	0.0678
38	0.1277	0.0770	-0.0068	0.0341	0.0488	0.0530	0.1103	0.0849	-0.0062	0.0434	0.0388	0.0514
39	0.0216	0.0443	-0.0159	0.0614	0.0354	0.0299	0.0582	0.0642	0.0749	0.0714	0.0064	0.0529
Crecimiento capital fijo						Productividad total de los factores						
31	0.0644	0.0642	0.0569	0.0309	0.0553	0.0540	0.0230	-0.0053	-0.0273	0.0118	0.0044	0.0005
32	0.0358	0.0082	0.0060	0.0067	0.0098	0.0123	0.0233	0.0134	-0.0191	0.0221	0.0157	0.0107
33	-0.0046	-0.0219	0.0230	-0.0143	0.0290	0.0036	0.0164	0.0399	-0.0022	0.0137	0.0397	0.0233
34	0.0845	0.0507	0.0630	0.0321	0.0531	0.0554	0.0086	0.0234	0.0023	0.0070	0.0159	0.0120
35	0.1630	0.0859	0.0267	0.0224	0.0676	0.0693	0.0255	-0.0195	-0.0032	0.0218	0.0072	0.0059
36	0.0802	0.0622	0.0620	0.0591	0.0438	0.0600	0.0392	-0.0178	0.0061	0.0136	0.0192	0.0106
37	0.0258	-0.0053	0.1386	0.0388	-0.0067	0.0369	0.0409	0.0265	-0.0269	0.0278	-0.0114	0.0091
38	0.0182	0.0253	0.0199	0.0134	0.0194	0.0193	0.0502	0.0290	-0.0190	0.0004	0.0273	0.0165
39	0.0893	0.0612	0.0177	0.0341	0.0334	0.0449	-0.0369	0.0046	0.0166	-0.0128	0.0146	-0.0007
Crecimiento del trabajo						Contribución de los inputs al crecimiento del producto						
31	0.0416	0.0439	-0.0046	0.0284	0.0255	0.0263	0.6085	1.0721*		0.7578	0.8755	0.9871
32	0.0535	0.0157	-0.0355	0.0431	0.0098	0.0156	0.7167	0.5907	0.4836	0.5603	0.2449	0.6078
33	0.0154	-0.0335	-0.0243	0.0710	-0.0005	0.0050	0.6173*		0.5096	0.7580	0.5142	0.3603
34	0.0744	0.0175	-0.0005	0.0340	0.0342	0.0303	0.9227	0.5566	0.9504	0.8078	0.7631	0.8030
35	0.0795	0.0250	-0.0036	0.0326	0.0355	0.0321	0.8010	1.4542	1.1052	0.5806	0.8583	0.8980
36	0.0484	0.0254	-0.0162	0.0240	0.0158	0.0182	0.6766	1.6528	0.7272	0.7899	0.7043	0.8164
37	0.0100	0.0258	-0.0262	0.0042	-0.0296	-0.0047	0.5907	0.3288	1.7312	0.6074	4.7648	0.8035
38	0.0682	0.0352	-0.0435	0.0439	0.0067	0.0196	0.6066	0.6228	-1.8041	0.9893	0.4401	0.6893
39	0.0402	0.0145	-0.0440	0.0652	0.0013	0.0139	2.7090	0.8971	2.0479	1.2089	0.5873	1.0245
Crecimiento materiales intermedios						Contribución de la PTF al crecimiento del producto						
31	0.0188	0.0900	0.0118	0.0409	0.0202	0.0364	0.3915	-0.0721*		0.2422	0.1245	0.0129
32	0.0754	0.0280	-0.0252	0.0349	0.0002	0.0197	0.2833	0.4093	0.5164	0.4397	0.7551	0.3922
33	0.0434	-0.0603	-0.0155	0.0691	0.0774	0.0242	0.3827*		0.4904	0.2420	0.4858	0.6397
34	0.1181	0.0194	0.0411	0.0257	0.0527	0.0488	0.0773	0.4434	0.0496	0.1922	0.2369	0.1970
35	0.0681	0.0514	0.0461	0.0345	0.0230	0.0428	0.1990	-0.4542	-0.1052	0.4194	0.1417	0.1020
36	0.1025	0.0390	-0.0078	0.0593	0.0653	0.0502	0.3234	-0.6528	0.2728	0.2101	0.2957	0.1836
37	0.0975	0.0204	0.0470	0.0604	0.0370	0.0501	0.4093	0.6712	-0.7312	0.3926	-3.7648	0.1965
38	0.1103	0.0664	0.0233	0.0384	0.0257	0.0494	0.3934	0.3772	2.8041	0.0107	0.5599	0.3107
39	0.0476	0.0358	-0.0676	0.1085	0.0249	0.0289	-1.7090	0.1029	-1.0479	-0.2089	0.4127	-0.0245

Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.

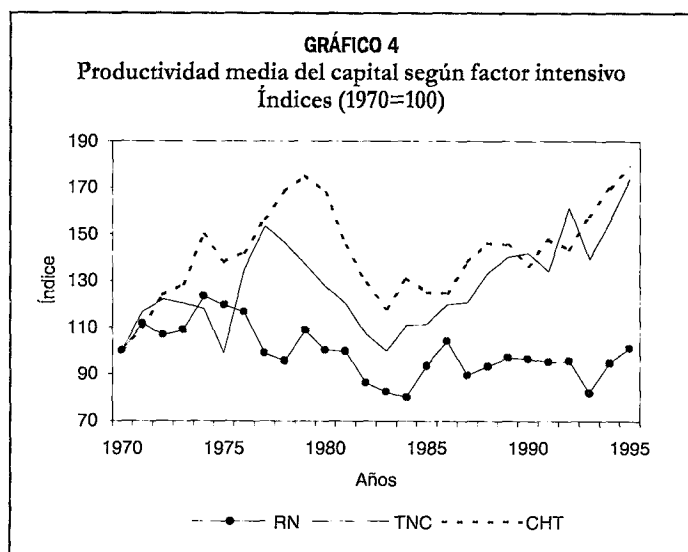
Notas: 31= Alimentos, bebidas, tabaco; 32= Textiles, confecciones y productos de cuero; 33= Madera y sus productos, muebles; 34= Papel, productos de papel y cartón, imprentas; 35= Refinerías de petróleo, productos químicos, plásticos y caucho; 36= Productos minerales no metálicos; 37= Industrias básicas de hierro y acero; 38= Productos metálicos, maquinaria eléctrica, maquinaria no eléctrica, equipo de transporte, y equipo oficina; 39= Otras industrias manufactureras.

*= Excluye observaciones fuera del rango (outliers)

La medición de las *productividades parciales* a través de las agrupaciones industriales se realizó con el fin de complementar el análisis en las fluctuaciones de la PTF. La productividad parcial se define como el radio del valor agregado al capital y trabajo, respectivamente. Los cambios en estos *radios* están asociados con movimientos en la intensidad del capital (K/L) y con el cambio técnico. Así una industria que se vuelve intensiva en capital y no está experimentando ganancias en capital mostrará un deterioro en la productividad media del capital.

Los gráficos 4 y 5 describen la evolución de los índices de las productividades medias del capital y trabajo según factor intensivo desde 1970. Estos resultados sugieren que el crecimiento ha estado ligado a las *fluctuaciones de la productividad media del capital* físico, más que a movimientos en la productividad del trabajo. En general estas tendencias muestran que la productividad del capital ha permanecido estancada, sin presentar una señal de recuperación, para las industrias tradicionales intensivas en recursos naturales.

Por el contrario, las industrias intensivas en tecnología y en un menor grado las intensivas en trabajo no calificado han logrado una recuperación sostenida en la productividad del capital desde mediados de los años ochenta. Uno encuentra con un mayor nivel de desagregación [Cuadro 9] que la productividad media del capital cayó a una tasa de -0,5% por año en las industrias de alimentos, bebidas y tabaco, y -1,4% en manufacturas diversas durante 1970-1995. Además los sectores tradicionales de bienes intermedios experimentaron tendencias decrecientes en la productividad del capital. En particular, se resaltan los casos de refinerías de petróleo (-0,51%), fibra de vidrio (2,4%), cemento (-1,8%) y fundición de aluminio y cobre (-2,3%).



Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.

Nota: RN = Recursos naturales; TNC = Trabajo no calificado; CHT = Capital humano y tecnología.

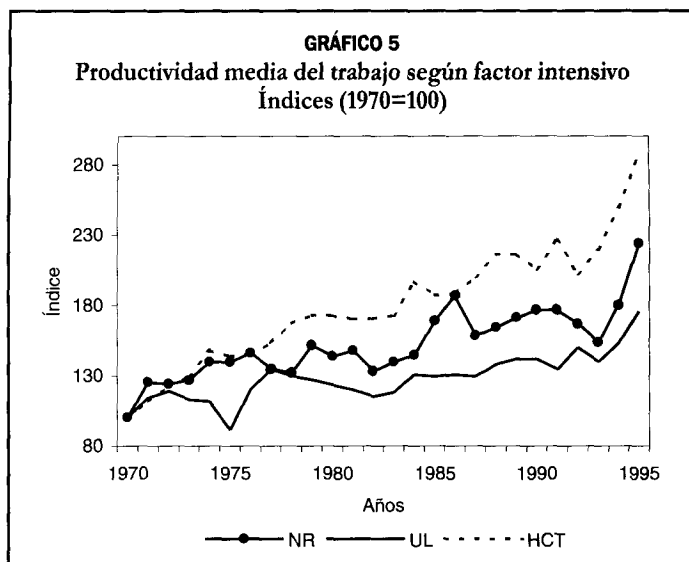
CUADRO 8
Crecimiento de la PTF según CIU y factor intensivo

Sectores dinámicos según ciu 4-dígitos									
FI	CIU	Descripción	70-74	75-79	80-84	85-89	90-95	70-95	
TNC	3219	Fabricación de textiles no clasificados en otra parte	0.0556	0.1057	0.0725	0.0840	0.0935	0.0848	
RN	3723	Refinación y fundición de metales preciosos	0.4634	-0.0159	-0.0048	0.0055	0.0595	0.0561	
CHT	3844	Fabricación de motocicletas y bicicletas	0.1198	0.1313	-0.0667	-0.1009	0.0947	0.0380	
CHT	3814	Fabricación de artículos de fontanería y calefacción	0.0798	-0.0309	0.0245	-0.0124	0.0967	0.0330	
TNC	3214	Fabricación de tapices y alfombras	0.0461	0.0074	0.0162	0.0041	0.0775	0.0306	
RN	3311	Aserraderos, talleres de acepilladura y madera	0.0407	0.0564	0.0044	0.0051	0.0388	0.0299	
CHT	3832	Equipos de radio, televisión y telecomunicaciones	0.0448	0.0433	0.0137	-0.0008	0.0380	0.0297	
CHT	3845	Fabricación de aeronaves	0.1375	0.0504	-0.0300	-0.0767	0.0868	0.0296	
CHT	3528	Fabricación de diversos productos químicos	0.0310	-0.0154	-0.0160	0.1260	0.0278	0.0295	
CHT	3826	Construcción de maquinaria no clasificada antes	0.0091	0.0447	-0.0489	0.0606	0.0456	0.0250	
CHT	3831	Maquinaria y aparatos eléctricos industriales	0.0465	0.0587	0.0059	0.0004	-0.0016	0.0234	
RN	3134	Fabricación de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas	0.0937	0.0334	-0.0195	0.0384	-0.0096	0.0234	
RN	3691	Productos de arcilla para la construcción	0.0585	0.0088	0.0054	0.0189	0.0274	0.0224	
TNC	3211	Hilados, tejidos y acabados de textiles	0.0610	0.0024	-0.0607	0.0269	0.0914	0.0224	
CHT	3811	Cuchillería, herramientas y artículos de ferretería	0.0252	0.0093	0.0076	0.0036	0.0575	0.0223	
TNC	3240	Fabricación de calzado excepto el de caucho	0.0057	0.0494	0.0010	0.0401	0.0035	0.0218	
TNC	3610	Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	0.0235	0.0178	0.0193	0.0135	0.0314	0.0210	
TNC	3221	Otras prendas de vestir excepto calzado	0.0281	0.0067	-0.0205	0.0476	0.0352	0.0209	
CHT	3521	Pinturas, barnices y lacas	0.0079	0.0604	0.0062	0.0051	0.0081	0.0203	
CHT	3823	Maquinaria para trabajar los metales y la madera	0.1945	-0.1067	0.0179	-0.0203	0.0387	0.0200	
CHT	3829	Construcción de maquinarias, aparatos y equipos nep	0.0349	0.0088	-0.0192	0.0127	0.0490	0.0199	
CHT	3851	Equipo profesional y científico, instrumentos de medida	0.0004	-0.0402	0.1040	0.0025	0.0242	0.0193	
TNC	3231	Curtidurías y talleres de acabado	0.0230	0.0098	0.0071	-0.0092	0.0520	0.0182	
RN	3540	Productos derivados del petróleo y carbón	0.1152	-0.0241	-0.0794	0.0888	0.0131	0.0178	
TNC	3212	Artículos confeccionados de materias textiles	0.0362	0.0117	-0.0052	0.0598	0.0000	0.0172	(Continúa)

(Continuación Cuadro 8)

Sectores no dinámicos según CIU 4-dígitos								
FI	CIU	Descripción	70-74	75-79	80-84	85-89	90-95	70-95
CHT	3849	Fabricación de material de transportes, nep	0.0292	0.0394	-0.0094	-0.0324	-0.0011	0.0012
TNC	3904	Industrias manufactureras diversas	-0.0290	0.0052	0.0132	-0.0314	0.0329	0.0010
RN	3132	Industrias vinícolas	0.0191	-0.0133	-0.0231	0.0129	0.0120	0.0008
RN	3319	Fabricación de artículos de madera y de corcho, nep	-0.0573	-0.0163	0.0037	0.0279	0.0205	0.0006
RN	3312	Fabricación de envases de madera y artículos de café	0.0077	-0.0188	-0.0450	0.0225	0.0312	0.0005
RN	3119	Elaboración del cacao, chocolate y confitería	0.0241	0.0392	-0.0810	0.0221	-0.0029	-0.0007
RN	3121	Elaboración de productos alimenticios diversos	0.0132	-0.0252	-0.0465	0.0436	0.0129	-0.0009
CHT	3522	Productos farmacéuticos y medicamentos	-0.0259	-0.0181	-0.0102	-0.0009	0.0352	-0.0013
RN	3118	Ingeniería y refinerías de azúcar	0.0102	-0.0619	-0.0188	0.0404	0.0145	-0.0024
RN	3720	Recuperación y fundición de cobre y aluminio	-0.0221	-0.0051	-0.0090	0.0069	0.0099	-0.0035
RN	3112	Fabricación de productos lácteos	-0.0068	-0.0213	-0.0254	0.0013	0.0213	-0.0043
TNC	3232	Industria de la preparación y teñido de pieles	-0.0901	0.0140	-0.0166	0.0031	0.0369	-0.0052
CHT	3842	Fabricación de equipos ferroviarios	-0.0245	0.0980	-0.0023	-0.0677	-0.0136	-0.0053
TNC	3216	Tejidos y manufacturas de algodón y sus mezclas	0.0307	0.0092	-0.0278	0.0338	-0.0634	-0.0056
RN	3621	Vidrio óptico, espejos y artículos de fibra de vidrio	0.1193	-0.1324	-0.0069	0.0689	-0.0537	-0.0068
TNC	3901	Fabricación de joyas y artículos conexos	-0.0539	-0.0135	0.0586	-0.1240	0.0398	-0.0068
RN	3133	Bebidas malteadas y malta	0.0516	0.0068	-0.0506	0.0155	-0.0565	-0.0113
TNC	3903	Fabricación de instrumentos de deporte y atletismo	-0.2124	-0.0120	0.0474	-0.0558	0.0539	-0.0125
TNC	3909	Otras industrias manufactureras diversas	-0.1012	0.0209	-0.0548	0.1433	-0.0647	-0.0127
TNC	3902	Fabricación de instrumentos de música	-0.1504	-0.0293	0.1058	0.0298	-0.0281	-0.0131
RN	3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas	0.0139	0.0507	-0.0239	-0.0397	-0.0703	-0.0192
CHT	3825	Máquinas de oficina, cálculos y contabilidad	-0.0381	0.0433	-0.1330	-0.0924	0.0619	-0.0222
CHT	3821	Construcción de motores y turbinas	-0.0533	0.0129	-0.0548	-0.2106	0.0216	-0.0311
RN	3140	Industria del tabaco	-0.0305	-0.0164	0.0225	-0.0271	-0.0962	-0.0340
RN	3123	Elaboración de compuestos dietéticos y otros	-0.2128	0.0018	-0.2399	0.0726	-0.0634	-0.0788

Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.
 Notas: RN= Recursos naturales; TNC= Trabajo no calificado; CHT= Capital humano y tecnología.



Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.

Nota: RN = Recursos naturales; TNC = Trabajo no calificado; CHT = Capital humano y tecnología.

CUADRO 9 Industria manufacturera colombiana Productividad media del capital - Tasas de crecimiento CIU 2 dígitos y factor intensivo						
VA/K						
CIU	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1995	1970-1995
31	0.0534	-0.0146	-0.0877	0.0314	0.0036	-0.0048
32	0.0536	0.0291	-0.0565	0.0598	0.0303	0.0223
33	0.0457	0.0710	-0.0213	0.0626	0.0576	0.0436
34	0.0171	0.0409	-0.0115	0.0138	0.0265	0.0177
35	0.0321	-0.0509	-0.0138	0.0478	0.0066	0.0033
36	0.0525	-0.0468	-0.0213	0.0096	0.0234	0.0023
37	0.0730	0.0621	-0.1167	0.0437	-0.0223	0.0042
38	0.1311	0.0628	-0.0633	0.0141	0.0598	0.0381
39	-0.0961	-0.0079	0.0096	-0.0128	0.0139	-0.0143
Total	0.0678	0.0082	-0.0544	0.0340	0.0214	0.0136
Factor intensivo						
RN	0.0527	-0.0254	-0.0618	0.0392	0.0065	0.0004
TNC	0.0415	0.0297	-0.0420	0.0468	0.0355	0.0221
CHT	0.1011	0.0312	-0.0579	0.0208	0.0342	0.0232

Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.

Nota: RN = Recursos naturales; TNC = Trabajo no calificado; CHT = Capital humano y tecnología.

La caída generalizada en la PTF durante 1980-1984, como bien lo mencionan otros autores [Echavarría (1990)], estuvo explicada por una sobre-inversión en capital fijo que no estuvo acompañado con incrementos en la producción o del valor agregado. Este hecho se corrobora con el crecimiento del radio VA/K, el cual fue negativo para todos los sectores durante estos años. Para el total de la industria dicha caída fue de -5,4% por año. El *stock* de capital creció a una tasa anual de 4,2% para el total de la industria, y su crecimiento fue positivo en el interior de todos los sub-sectores (Cuadro 7). Por su parte, el valor agregado decreció a tasas del -1.3% para el total industrial causados por la contracción en la demanda de bienes de consumo (Cuadro 10). La inversión en maquinaria y equipo explica en gran parte la dinámica de la acumulación del capital para estos años (Cuadro 11). Un elemento esencial para este *boom* en la inversión en activos transables fue la apreciación real del peso durante 1979-1983. De hecho, la alta correlación entre la dinámica de la tasa de cambio y las importaciones de bienes de capital es una regularidad observada en la economía colombiana²¹.

La *restructuración industrial*, al menos en la asociada a la composición del capital, es otro elemento que explica las fluctuaciones en la PTF y las productividades medias. Este resultado da una indicación sobre los cambios en la sustitución de factores dentro de los sectores industriales. Sobre este punto vale la pena resaltar dos hechos: i) el incremento generalizado en la productividad del trabajo a través de sectores industriales, y ii) la tendencia ascendente el radio capital-trabajo (Gráfico 6). Estas regularidades muestran que sobre el promedio la industria se ha vuelto más intensiva en capital. El trabajo fue la variable de ajuste durante la crisis de la productividad de 1980-1984, y desde entonces este ha sido el *input* de menor crecimiento en todos los sectores. Este ajuste fue particularmente severo en las industrias de hierro y acero en el cual políticas de recorte de personal fueron implementadas desde estos años. El sector empleaba 11.000 obreros en 1980, cifra que cayó a 6.000 en 1990.

El *mejoramiento en la calidad de los insumos* es otro elemento que explica la tendencia en el crecimiento de la PTF. Esta variable refleja los efectos de recomposición y reasignación entre los componentes de cada factor de producción. El Gráfico 7 describe la evolución entre el índice *translog* de la PTF ponderado, y sin ponderar en los *inputs* agregados. La diferencia entre ellos mide el efecto de la *calidad de insumos*. Un resultado central derivado de este ejercicio es que el efecto asociado a los cambios en la calidad de insumos fue significativo durante 1970-1995. La tasa anual de crecimiento en la PTF fue de 0,9% (Cuadro 5) de los cuales 0.68 puntos porcentuales son atribuibles a esta corrección (Cuadro 13). La mayor sustitución de materias primas nacionales por importadas, de trabajadores calificados por obreros no calificados, y maquinaria por otros activos fijos explican este resultado. Esta diferencia refleja de forma indirecta, aunque este ejercicio no lo cuantifica, un *cambio técnico incorporado* al capital humano, materiales intermedios y bienes de capital que las mediciones tradicionales, como este ejercicio, no lo toman en cuenta.

21. Sobre este punto, véase Ocampo (1994). Esta correlación se ha repetido con el tiempo. Por ejemplo, la reciente apreciación del peso observada desde 1993 estuvo acompañada de un incremento en las tasas de inversión en maquinaria.

CUADRO 10 Industria manufacturera colombiana Crecimiento en el valor agregado CIU 2 dígitos y factor intensivo						
CIU	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1995	1970-1995
31	0.1178	0.0497	-0.0308	0.0622	0.0589	0.0492
32	0.0894	0.0373	-0.0504	0.0665	0.0400	0.0346
33	0.0411	0.0491	0.0017	0.0483	0.0866	0.0472
34	0.1016	0.0917	0.0515	0.0459	0.0796	0.0732
35	0.1951	0.0349	0.0129	0.0701	0.0742	0.0726
36	0.1326	0.0154	0.0407	0.0688	0.0672	0.0623
37	0.0987	0.0568	0.0219	0.0825	-0.0290	0.0411
38	0.1493	0.0881	-0.0434	0.0275	0.0792	0.0573
39	-0.0069	0.0533	0.0272	0.0214	0.0473	0.0306
Total	0.1282	0.0510	-0.0129	0.0598	0.0620	0.0550
Factor Intensivo						
RN	0.1292	0.0456	-0.0211	0.0653	0.0656	0.0544
TNC	0.0816	0.0439	-0.0248	0.0593	0.0497	0.0407
CHT	0.1620	0.0618	0.0024	0.0542	0.0642	0.0650

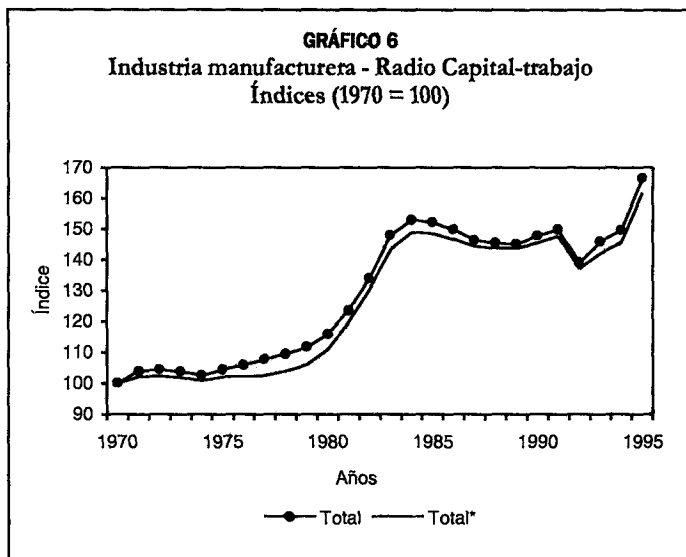
Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.

Nota: RN = Recursos naturales; TNC = Trabajo no calificado; CHT = Capital humano y tecnología.

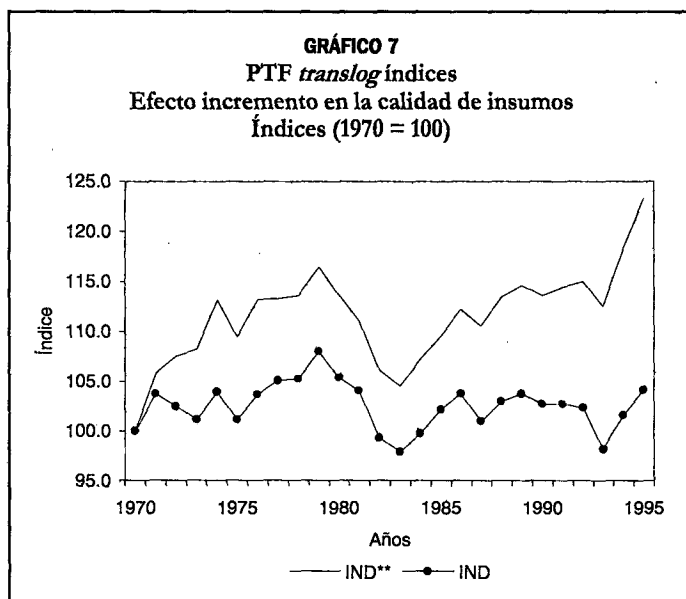
CUADRO 11 Industria manufacturera colombiana Stock de capital en maquinaria y equipo - Tasas de crecimiento CIU 2 dígitos y factor intensivo						
CIU	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1995	1970-1995
31	0.1026	0.0898	0.0787	0.0419	0.0634	0.0737
32	0.0506	0.0120	0.0151	0.0144	0.0123	0.0194
33	-0.0160	-0.0313	0.0299	-0.0208	0.0412	0.0029
34	0.1435	0.0706	0.0828	0.0360	0.0694	0.0775
35	0.2082	0.1030	0.0264	0.0166	0.0722	0.0798
36	0.1554	0.0995	0.0731	0.0680	0.0455	0.0839
37	0.0327	-0.0028	0.1549	0.0342	0.0003	0.0426
38	0.0372	0.0398	0.0348	0.0218	0.0219	0.0305
39	0.0950	0.0671	0.0370	0.0353	0.0247	0.0490
Total	0.0922	0.0600	0.0535	0.0296	0.0478	0.0548
Factor intensivo						
RN	0.1219	0.0999	0.0441	0.0276	0.0685	0.0703
TNC	0.0572	0.0188	0.0301	0.0192	0.0156	0.0265
CHT	0.0925	0.0400	0.0837	0.0383	0.0365	0.0559

Fuente: Cálculos propios con base en la EAM-DANE.

Nota: RN = Recursos naturales; TNC = Trabajo no calificado; CHT = Capital humano y tecnología.



Fuente: Cálculos Propios con base en la EAM-DANE.
Nota: * Excluye refinerías de petróleo (total industria manufacturera).



Nota: ** Incluye *translog* índices en los *inputs* agregados.
Fuente: Cálculos propios.

CUADRO 13 Efecto de calidad de insumos sobre el crecimiento en la PTF (Promedios tasas de crecimiento)				
Años	RN	TNC	CHT	Total
70-74	0.0186	0.0154	0.0300	0.0212
75-79	-0.0010	-0.0073	0.0000	-0.0017
80-84	-0.0025	0.0063	-0.0033	-0.0009
85-89	0.0031	0.0069	0.0076	0.0055
90-95	0.0127	0.0089	0.0111	0.0116
70-95	0.0059	0.0058	0.0083	0.0068

Fuente: Estimaciones Propias con base en la EAM-DANE.
 Nota: RN = Recursos naturales; TNC = Trabajo no calificado;
 CHT = Capital humano y tecnología.

V. CONCLUSIONES

El anterior ejercicio de contabilidad del crecimiento arrojó varios resultados interesantes sobre el desempeño global y sectorial en el cambio técnico en la industria desde 1970. Se pudo identificar que los bienes de capital, consumo durable e industrias de la confección fueron los sectores más dinámicos en ganancias de la PTF. Sin embargo, el desempeño global puede clasificarse como modesto. El crecimiento promedio en la PTF para el agregado industrial fue del 0,89%. Posterior a la crisis en la productividad factorial en la primera mitad de los años ochenta, los índices de la PTF se han recuperado pero no de forma acelerada. El promedio fue del 1,3% para los años de 1985-1995. Estas tasas de crecimiento en la PTF distan de las históricas observadas en las economías de industrialización reciente que garantice la modernización y profundización tecnológica en la economía. Existe evidencia que hubo una renovación en maquinaria a principios de los años ochenta y noventa pero no de una reestructuración integral. Al parecer se enfatizó en una sustitución de trabajo por capital como lo sugieren la evolución en el radio capital-trabajo. Sin embargo, las ganancias en la productividad media del trabajo no compensaron las pérdidas en la productividad media del capital durante los años ochenta.

En los años noventa esta situación se revierte parcialmente. Los sectores estancados racionaron más trabajo pero no invirtieron en equipo de capital. En esta línea es importante destacar que el desempeño en la productividad media del capital, el incremento en el radio capital-trabajo, y el efecto de mejoras en la calidad de insumos son tres elementos que explican las tendencias de largo plazo del cambio técnico en la industria manufacturera.

Los resultados muestran las bondades de la medición no paramétrica de la PTF como punto de partida para analizar la naturaleza del progreso técnico. En esta dirección son varias extensiones que complementan este ejercicio. Primero está la refinación en la medición. La incorporación de competencia oligopólica, ajustes por economías

a escala y capacidad instalada son tres elementos que tienen un efecto directo sobre la medición de la PTF. Segundo, el análisis sobre los determinantes del residuo es una aproximación para abordar la endogeneidad del cambio técnico. Tercero, la relación de la innovación y especialización internacional permiten estudiar la dinámica por el lado de la oferta de la diversificación exportadora. Estos ejercicios proveen más herramientas para el debate sobre la naturaleza de la política tecnológica y su dirección, pero que por el alcance y objetivo de este ensayo no se han incluido.

BIBLIOGRAFÍA

Abramovitz, M. (1986). "Catching up, forgoing ahead, and falling behind", *Journal of Economic History*, 66, pp. 385-406.

Arrow, K. (1962). "The economic implications of learning by doing", *Review of Economic Studies*, 29, pp. 155-173.

Auerbach, A. (1983). "Taxation, corporate financial policy and the cost of capital", *Journal of Economic Literature*, Vol. 21, pp. 905-940.

—— (1990). "The cost of capital and investment in developing countries", *World Bank Working Papers*, abril, Washington.

Barro, R. y Sala-I-Martin X. (1995) *Economic Growth*, McGraw Hill, Nueva York.

Biorn, E. (1989). *Taxation, Technology and the User Cost of Capital*, North Holland, Amsterdam.

Bonilla, G. (1992). "Tendencias de la productividad en la industria manufacturera colombiana", en: Garay, L., (Ed.) *Estrategia industrial e inserción internacional*, Fescol, Bogotá.

Cárdenas M., y Olivera M. (1995). "La crítica de Lucas y la inversión en Colombia: nueva evidencia" en: *Ensayos sobre Política Económica*, No. 25, junio, Banco de la República, Bogotá.

Chambers, R. (1991). *Applied Production Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.

Chica, R. (1990). "El estancamiento de la industria colombiana", en: *Coyuntura Económica*, 20, pp. 81-101.

—— (1996). "Crecimiento de la productividad y cambio técnico en la industria manufacturera colombiana", en: Chica, R. (Ed.) *El crecimiento de la productividad en Colombia*, DNP, Bogotá.

Christensen, L., Jorgenson, D., y Lawrence L. (1971). "Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Function", *Econometrica*, 39, pp. 255-256.

Cowing, T., y Stevenson, R. (1981). (Eds.) *Productivity Measurement in Regulated Industries*, Nueva York, Academic Press.

Deninson, E. (1962). *Sources of Economic Growth in the United States*, Committee for Economic Development, Nueva York.

Diewert, W. E. (1971). "An application of the Shephard duality theorem: A generalized Leontief production function", *Journal of Political Economy*, 79, pp. 481-507.

— (1974). "Application on duality theory", en: *Frontiers of Quantitative Economics*, Intrilligator, M. D. y Kendrick, D. A. (Eds.) North-Holland, Amsterdam.

— (1976). "Exact and superlative index numbers", *Journal of Econometrics*, 4, pp. 115-145.

Dowrick, S. y Nguyen, D. (1989). "OECD comparative economic growth 1950-1985: Catch up and convergence", *American Economic Review*, 79, pp. 1.010-1.030.

Echavarría J. J. (1990). "Cambio técnico, inversión y reestructuración industrial en Colombia", *Coyuntura Económica*, junio, pp. 103-125.

Elías V. (1990). *Sources of Growth: A Study of Seven Latin American Economies*, International Center of Economic Growth, ICS Press, San Francisco.

Fainboim, I. (1990). "Inversión, tributación y costo de uso del capital en Colombia: 1950-1987", en: *Ensayos sobre Política Económica*, No 18, pp. 7-50.

Hall, R. y Jorgenson D. (1967). "Tax policy and investment behavior", *American Economic Review*, Vol. 57, pp. 391-414.

Harberger A. (1969). "La tasa de rendimiento del capital en Colombia," *Revista Planeación y Desarrollo*, Vol. 1., pp. 13-42.

Hulten, C. (1973). "Divisia index numbers", *Econometrica*, 41, pp. 1.017-1.025.

Hulten J. y Wykoff F. (1980). "Economic depreciation and taxation structure in U. S. manufacturing industries", en: Usher D. (ed.) *The Measurement of Capital*, Studies of Income and Wealth, Vol. 45, The University of Chicago Press.

— (1981a). "The estimation of economic depreciation using vintage asset prices", *Journal of Econometrics*, Vol. 15, pp. 367-396.

— (1981b). "The measurement of economic depreciation", en: Hulten C., ed., *Depreciation Inflation and Taxation*, The Urban Institute Press, Washington.

Jorgenson D., Gollop F. y Fraumeni B. (1987). *Productivity and U.S. Economic Growth*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Judge G., Carter H., Griffiths W., Lutkepohl H., Lee T. (1986). *The Theory and Practice of Econometrics*, John Wiley and Sons Inc., Nueva York.

Lee-Jung, Kim (1991). *Modeling and measuring technical change and productivity growth*, Ph.D. unpublished Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.

- Musgrave J. y Young, A. (1980). "Estimation of the capital stock in the United States" en: Usher D. (ed.) *The measurement of capital*, Studies of Income and Wealth, Vol. 45, The University of Chicago Press.
- Nordaus, W. (1969). "An economic theory of technical change", *American Economic Review*, Papers and Proceedings, 59, pp. 18-28.
- Nadiri I. y Kim S. (1996a). "R&D, production structure and productivity growth: A comparison of the US, Japanese and Korean manufacturing sectors", *NBER Working Paper Series*, marzo, No. 5506.
- (1996b). "International R&D spillovers, trade in major OECD countries", *NBER Working Paper Series*, octubre, No. 5801.
- Good, D. y Sickles, R. (1996c). "Index numbers and factor demand approaches to the estimation of productivity", *NBER Working Paper Series*, octubre, No. 5790.
- Ocampo, J. A. (1994). "Trade policy and industrialization in Colombia, 1967-1991", en: Helleiner, G. (Ed.) *Trade policy and Industrialization in Turbulent Times*, Routledge, Londres.
- Pombo, C. (1999). *Technical Change, Market Structure, and Intraindustry Trade Specialization: A study of the Colombian manufacturing industry*, Unpublished Ph.D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- y Cortés M. (1991). "Una nota metodológica sobre la construcción de las series de capital fijo y sobre los determinantes de la inversión industrial en Colombia", en *Universitas Económicas*, Vol. III, No. 1, Universidad Javeriana, Bogotá.
- Solow, R. (1956). "A contribution to the theory of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, 70, pp. 65-94.
- (1957). "Technical change and the aggregate production function", *Review of Economics and Statistics*, 23, pp. 101-108.
- Spitzer, J. (1982). "A primer on Box Cox estimation", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 64, pp. 307-313.
- Uzawa, H. (1965). "Optimal technical change in an aggregate in an aggregate model of economic growth" *International Economic Review*, 6, pp. 18-31.
- Young A. (1994). "The tyranny of numbers: Confronting the statistical realities of East Asian growth experience", *NBER Working Paper Series*, marzo, No. 4680.