

## PROGRESO TÉCNICO LIGADO AL CAPITAL: UN PANORAMA\*

La mayoría de los estudiosos circunstanciales del problema parecen creer que la mayor parte del progreso técnico observable es ligado por naturaleza, pero existe muy poca información precisa sobre este punto.

Solow, 1962a, p.216

Una intensa actividad de inversión no sólo mejora el equipamiento de las empresas con bienes de capital físico sino también constituye un fuerte estímulo para una amplia aplicación de los conocimientos técnicos nuevos. Desde comienzo de los años '70, se observa un retroceso notable de la inversión en todos los países industriales importantes. Sus consecuencias para la eficiencia de la producción están registradas explícitamente en modelos con progreso técnico ligado al capital. Estos modelos, sin embargo, parecen haber sido relegados al olvido en los últimos años. Una revisión de un amplio debate sobre ese concepto —que se extendió por más de dos décadas— podría contribuir a aclarar algunos aspectos estructurales de las bajas tasas de crecimiento y productividad que se manifiestan en la actualidad. Para ello, no es suficiente reseñar la bibliografía sobre este tema en el campo de la teoría del crecimiento; es necesario también explorar la posibilidad de un desarrollo ulterior de los esquemas teóricos existentes, resultante de una combinación entre el concepto de progreso ligado al capital y los resultados de la investigación sobre la innovación a nivel microeconómico.

El progreso técnico puede designarse como ligado al capital<sup>1</sup> si la técnica más moderna no está contenida sino en los bienes de capital recientemente producidos, no así en los que fueron objeto de producción en períodos anteriores (*vintages*). La edad de un bien de capital es, por lo tanto, decisiva para su eficiencia. En los modelos de bienes de capital por generaciones existe siempre —en contraposición a los modelos de progreso no ligado— una discrepancia más o menos marcada entre la mejor tecnología posible y la tecnología promedio usada. En el caso de progreso técnico no ligado, cada mejora técnica es incorporada de inmediato por todas las empresas, mientras en el progreso ligado al capital, se supone que puede ser más conveniente continuar trabajando con la técnica antigua, ya que la incorporación al proceso de la producción del nuevo conocimiento no es ya gratuita sino exige la necesidad de incurrir en gastos para la adquisición de nuevas instalaciones.

\* El presente trabajo fue publicado bajo el título "Kapitalgebundener technischer Fortschritt: Ein Überblick" en *Weltwirtschaftliches Archiv*, vol. 121, 1, 1985. La dirección de Estudios económicos agradece a su autor y al *Institut für Weltwirtschaft, Kiel*, la autorización para traducirlo al español y publicarlo. La versión española se debe al Profesor Lic. Raúl Dichiará.

<sup>1</sup> La introducción del término "kapitalgebundener technischer Fortschritt" en el uso idiomático alemán se debe a V. Weizsäcker (1966).

Mientras en el progreso técnico no ligado no existe ninguna vinculación entre actividad de inversión y nivel tecnológico de la producción, en el progreso ligado al capital se supone, por lo menos a corto plazo, que la difusión de nuevos métodos de producción depende de los cambios en las tasas de inversión. Sin embargo, a largo plazo, la eficiencia tecnológica es también independiente del comportamiento de inversión en la mayoría de los modelos. Se procurará demostrar que este resultado depende, sustancialmente, de los supuestos sobre las posibilidades de combinación existentes entre técnicas nuevas y antiguas. En las formulaciones actuales sobre progreso ligado al capital se parte del supuesto de que los nuevos bienes de inversión pueden incorporar se sólo en lugar de los antiguos (de manera sustitutiva) y que no son susceptibles de incorporarse con el fin de reequipamiento y modernización de las instalaciones antiguas (de manera complementaria). Para la modernización de las instalaciones existentes, los perjuicios de una merma de inversión son posiblemente tan importantes, y ante todo más duraderos, que sus efectos sobre la estructura de edades, tal que los modelos de bienes de capital por generaciones han logrado captar sólo de manera insuficiente las fuerzas que tienden a contrarrestar la eficiencia tecnológica.

## I. EL ORIGEN DE LOS MODELOS DE BIENES DE CAPITAL POR GENERACIONES

A los economistas clásicos les hubiera apenas sorprendido la afirmación de que en una economía, la velocidad de incremento de la eficiencia disminuye con tasas decrecientes de inversión. Para ellos, la formación de capital constituye la condición previa de una mayor división del trabajo y de ahí la fuente más importante del bienestar económico<sup>2</sup>. La teoría neoclásica del crecimiento, por el contrario, centra muy fuertemente la atención en el progreso técnico, originalmente, en su forma no ligada. No sólo en el equilibrio de largo plazo, sino también en el proceso de ajuste a corto plazo, la contribución al crecimiento de las inversiones en bienes de capital físico permanece, en sus modelos, muy limitada. Según se argumenta, la elasticidad de producción del capital es demasiado pequeña como para que los cambios en la actividad de inversión pudieran explicar, a nivel macroeconómico, una parte sustancial de las variaciones en las tasas de crecimiento<sup>3</sup>.

Este pesimismo de los neoclásicos dio origen a críticas en sus propias filas ya a comienzos de los años '60, que se cristalizaron en la hipótesis de un

<sup>2</sup> "Las fuerzas productivas de igual número de trabajadores no se pueden aumentar, excepto a consecuencia de algún incremento y mejora de aquellas máquinas e instrumentos que facilitan y reducen el trabajo o de una más adecuada división y distribución del empleo. En cualquier caso, casi siempre se necesita un capital adicional" (Smith, 1776, aquí 1976, pág. 364).

<sup>3</sup> Según Denison (1977; 1980), quien para sus cálculos utiliza una formulación simple de la teoría de la producción con progreso técnico no ligado, el retroceso del crecimiento del producto nacional en los Estados Unidos de 2,6% anual entre 1948 y 1973 a -0,6% entre 1973 y 1976 ha sido provocado en más que dos tercios a través de variaciones de una magnitud no explicada que debe representar el progreso técnico. El asigna muy poca importancia al retroceso de inversiones materiales. Bosworth (1982) ofrece un ejemplo actual adicional en sostén de esta argumentación.

progreso técnico ligado al capital. Si —como se supone en los modelos correspondientes— el empleo de nuevas técnicas de producción sólo es posible mediante la incorporación de nuevos bienes de capital, la inversión debe desempeñar un rol decisivo en la realización del potencial de crecimiento abierto por el progreso técnico. De esta manera, tal como fue expresado por Phelps (1962), las inversiones se amalgamaron con la tecnología.

Los primeros modelos de progreso ligado al capital se deben a Johansen (1959) y Solow (1960). El punto de partida de sus reflexiones fue una observación aparentemente paradójica en la teoría tradicional del crecimiento: si se estima por análisis de regresión, una función de producción con componente de progreso no ligado, se obtiene un valor de la elasticidad de producción del capital significativamente mayor que el que sería de esperar considerando las cuotas de distribución del ingreso nacional. Las discrepancias son demasiado marcadas para que se les pueda atribuir a imperfecciones de mercado o rendimiento a escala; en su lugar, se sospecha que la contribución del capital al crecimiento no se limita sólo a la sustitución de trabajo por capital, y que, por lo tanto, existe un error de especificación del modelo subyacente (Solow, 1962-b y Nelson, 1964). Análisis de corte transversal internacionales también permiten reconocer una relación entre las tasas de crecimiento y las de inversión de los diferentes países, sustancialmente más estrecha de lo que se podría presumir a partir de modelos neoclásicos de crecimiento con progreso no ligado (por ejemplo, Kaldor, 1961; Kendrick, 1981).

Hasta hoy en día, se ha intentado en varias oportunidades confirmar empíricamente la relevancia del progreso ligado al capital. La discusión teórica de este concepto se halla, sin embargo, silenciada desde los años '60. Esto parece relacionarse con el paso a primer plano de los modelos de aprendizaje por acción y de capital humano, susceptibles ambos de clasificarse bajo el concepto de progreso técnico ligado al trabajo<sup>4</sup>. Pero se debe sobre todo al hecho de que en períodos de altas tasas de inversión, fue escasa la relevancia del tema: en qué medida una actividad de inversión insuficiente limita la incorporación de nuevas tecnologías.

## II. TRES MODELOS BASICOS

Los modelos existentes de bienes de capital por generaciones se pueden clasificar en tres grupos, según los supuestos relativos al grado de reacción de la intensidad de capital de los procesos de producción a modificaciones de los precios relativos de los factores. Los procedimientos de producción cuya relación de insumo factorial está definida en forma puramente técnica, se comparan con arcilla cocida no modelable (*clay*), mientras los métodos de producción adaptables, que se dejan moldear a cada forma de-

<sup>4</sup> Los precursores de la teoría del aprendizaje por acción fueron Arrow (1962) y Kaldor (1961). Respecto al modelo de capital humano son de mencionar especialmente Mincer (1958), Schultz (1960) y Denison (1962). Kaldor y Mirrlees (1962) brindan una combinación de los esquemas anteriores.

seada, se comparan con masilla (*putty*)<sup>5</sup>. Si, además, se distingue entre elasticidad de sustitución *ex-ante* y *ex-post*, resultan las versiones siguientes:

—La dotación de mano de obra puede variar a discreción tanto en las instalaciones nuevas como en las equipadas con bienes de capital producidos en el curso de los años anteriores (modelo masilla-pura).

—La intensidad de capital se puede elegir libremente para instalaciones nuevas; sin embargo, una vez que éstas han sido terminadas, no se puede introducir ninguna modificación del insumo de trabajo en las generaciones antiguas de bienes de capital (masilla-arcilla).

—La relación de insumo factorial está fijada técnicamente también en las instalaciones nuevas. Para una economía en crecimiento, se supone, además, que la intensidad de capital de las instalaciones más modernas aumenta continuamente, independiente de la evolución de los precios relativos de los factores (arcilla-pura).

Las consecuencias de estas diferencias en la construcción de modelos se manifiestan ante todo en los cambios entre dos estados de equilibrio<sup>6</sup>. Los efectos de una variación de inversión se suelen examinar a partir de un incremento exógeno de la propensión de ahorro; supuesto que se mantendrá más adelante. Por razones de sencillez, se da por sentado, además, que la vida física de los bienes de capital es ilimitada: en tal caso, su retiro del proceso productivo será determinado sólo por consideraciones de rentabilidad.

### 1. Modelo masilla-pura

En este caso, se debe a la competencia en el mercado de trabajo que, con la incorporación de nuevas instalaciones productivas, se retire de las existentes precisamente tanta mano de obra como para que la productividad marginal del trabajo sea igual en todas las generaciones de bienes de capital. Tanto más antigua es una instalación, tanto menos lugares de trabajo rentables ofrece, ya que cada una compite con instalaciones nuevas siempre más numerosas y más eficientes. Dado que en el curso del progreso técnico se pueden pagar, en las instalaciones nuevas, salarios permanentemente mayores también la productividad del trabajo debe ir creciendo continuamente en las instalaciones ya existentes. Con todo, la eficiencia tecnológica de las instalaciones antiguas no es afectada por el progreso técnico; por lo tanto, debido al retiro de la mano de obra, la productividad marginal del

<sup>5</sup> Esta metáfora se remonta a Phelps (1963). *N. del T.*: Las expresiones: "putty-putty", "putty-clay" y "clay-clay" que aparecen en el texto en inglés se han traducido, respectivamente por "masilla-pura", "masilla-arcilla" y "arcilla-pura". Cfr. Wan, Henry, J., *Teorías modernas del crecimiento económico*. Barcelona: Vicens Universidad, 1975.

<sup>6</sup> Se designa como equilibrio una situación en que la producción y la oferta de mano de obra crecen con tasa constante, la tasa de inversión permanece invariable y el progreso técnico tiende a incrementar, con una tasa constante, la eficiencia de los respectivos bienes de capital más nuevos. Esto último es el caso del progreso técnico Solow-neutral (multiplicador del capital) (cfr. Solow, 1963; Hahn y Matthews, 1965). Las condiciones de consistencia Harrod-Domar han de ser, por supuesto, satisfechas, aún cuando a veces toman en los modelos de bienes de capital por generaciones otra forma que en los modelos de crecimiento simples (para el caso de arcilla-pura, ver Solow (1970)).

trabajo se debe incrementar por una creciente intensidad de capital. Tanto más antiguo es un bien de capital, tanto más capital intensiva será la producción. Tanto más rápido es el aumento de los salarios, tanto más rápidamente aumenta también la intensidad de capital en cada generación de bienes de capital (Solow, 1960; 1962b). No existen desmantelamientos definitivos; en su lugar, la intensidad de capital en las instalaciones más antiguas crece hasta infinito y su productividad de capital, así como el insumo de trabajo con él asociado, tienden a cero. En equilibrio, la distribución de las fuentes de trabajo en cada generación de bienes de capital está determinada sólo por la velocidad del progreso técnico y es constante en el transcurso del tiempo (Phelps, 1962; Matthews, 1964; Phelps y Yaari, 1964).

Un aumento de la inversión (desencadenado por un incremento en la propensión al ahorro y una subsecuente disminución del interés) conduce a un retiro intensificado de la mano de obra en todas las generaciones de bienes de capital, hasta que se igualen nuevamente las productividades marginales en todos los puestos de trabajo. Esto exige una disminución más que proporcional de insumo de mano de obra en las instalaciones más antiguas, de todos modos más débilmente ocupadas, ya que a diferencia de las más recientes, en las instalaciones de escasa eficiencia, la productividad del trabajo no puede ser incrementada sino con una intensificación mayor del capital. De esta manera se llega, ante todo, a una rápida disminución de la brecha entre la mejor tecnología posible y la tecnología promedio empleada<sup>7</sup>. Si el incremento de la inversión continúa manteniéndose aún en los años sucesivos, el proceso de modernización sigue su curso. Sin embargo, pronto se alcanza un punto en que a los períodos de inversiones fuertes les corresponde un nivel tecnológico menor que el promedio<sup>8</sup>, tal que la brecha de imitación se agranda nuevamente. Considerando que tal como se señaló más arriba la distribución de las fuentes de trabajo, y con ello, también de producción, es independiente, a largo plazo, de la tasa de inversión, la curva de imitación se aproxima asintóticamente a su antiguo sendero de expansión.

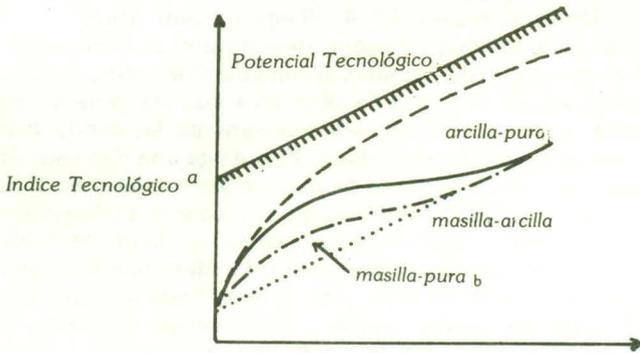
La figura insertada a continuación sintetiza esquemáticamente este desarrollo. La recta superior representa el aumento de la eficiencia tecnológica a medida que van apareciendo en cada período, las instalaciones nuevas. Se supone una tasa constante de progreso técnico Solow-neutral. Para el modelo masilla-pura, como asimismo para los otros dos modelos, se reproduce la eficiencia promedio de todas las instalaciones utilizadas; la distancia de estas curvas de imitación de la del potencial tecnológico constituye la brecha de imitación. Dado que se trata de una escala logarítmica, distancias

7 En la literatura permanece dudoso el procedimiento para medir esta brecha. Phelps (1962) no considera sino la edad promedio de las instalaciones de producción, mientras que Matthews (1964) propone una edad media ponderada con la cantidad de la mano de obra empleada en los años individuales (contrariamente: Phelps y Yaari, 1964). Sin embargo, parece más conveniente ponderar las diferentes generaciones de bienes de capital con sus participaciones en la producción, dado que, por fin, se trata del nivel tecnológico de la producción y no de los puestos de trabajo.

8 "Grandes inversiones hoy nos enfrentarán con una gran cantidad de equipo antiguo en el futuro" (Phelps, 1962, pág. 553).

iguales reproducen relaciones iguales entre la mejor tecnología posible y la tecnología promedio adoptada. El gráfico muestra que en el caso masilla-pura no se pueden modernizar sino en forma transitoria los procesos de producción con expansión de la tasa de inversión.

*Tecnología potencial y promedio después de un aumento duradero de la tasa de inversión en diferentes modelos de bienes de capital por generaciones*



Notas: a) Eficiencia de las instalaciones productivas ponderada con su participación en la producción (escala logarítmica).

b) Para el rol de la elasticidad de sustitución para el caso masilla-arcilla, ver la explicación en el texto.

## 2. Modelo masilla-arcilla

En el caso de sustitución *ex-ante* y limitación *ex-post* es imposible igualar las productividades marginales entre diferentes generaciones de bienes de capital, debido a restricciones técnicas; la productividad del trabajo es la más baja en las instalaciones más antiguas. Esta productividad determina simultáneamente el salario: se obtienen, por tanto, cuasi-rentas en todas las generaciones más recientes (Johansen, 1959; Salter, 1960; Solow, 1962). La mano de obra necesaria para los nuevos bienes de capital abandona las instalaciones más antiguas que se paralizan, debido a la obsolescencia económica.

En este modelo, en contraposición al precedente, la intensidad de capital es tanto mayor cuanto menor es la edad de las instalaciones. El tiempo durante el cual se puede usar un bien de capital no depende, en equilibrio, sino de los aumentos de salarios y, con ello, de la tasa de progreso técnico. Dado que su vida útil no varía, la cantidad de mano de obra debe ser igual para todas las generaciones de bienes de capital, si la oferta de mano de obra permanece constante (Massell, 1962a; Phelps, 1963; Matthews, 1964).

Es problemática en este modelo la elección de la intensidad de capital para nuevas instalaciones, dado que es necesario asegurar una producción rentable no sólo a los salarios actuales, sino también a los salarios futuros

más altos. Para poder tomar esta decisión en forma óptima, se deben conocer ya hoy todas las cuasi rentas futuras y descontarlas a su valor actual. Pero esto supone el conocimiento de los salarios futuros por pagar. Tanto mayores son los incrementos esperados de salario para los años sucesivos, tanto más capital intensivos serán las instalaciones establecidas hoy. Como esquema auxiliar, se puede recurrir sea a expectativas estáticas (Solow, 1962a; Salter, 1965; Sheshinski, 1967) o expectativas adaptativas (Matthews, 1964; Park, 1968) de los empresarios respecto al desarrollo del salario real.

En caso de un rápido incremento de inversión, la mano de obra adicional necesaria para incorporar en nuevas instalaciones proviene de las más antiguas, las que, en consecuencia, se desmantelan anticipadamente. La intensidad del efecto de modernización de corto plazo depende en este caso de la magnitud de la elasticidad de sustitución entre capital y trabajo<sup>9</sup>. Cuanto mayor es la elasticidad de sustitución, tanto más rápidamente aumenta, ante una variación de precios de factores, la intensidad de capital en las instalaciones más nuevas tanto menor es la cantidad de mano de obra que debe ser retirada de las instalaciones antiguas y tanto menor es el incremento de la producción en las instalaciones más modernas. En el caso extremo de elasticidad de sustitución infinitamente alta, el ahorro adicional se invierte en nuevos bienes de capital, no bien se produce un cambio en los precios de los factores aunque fuera apenas perceptible, de manera que ninguna de las antiguas instalaciones se ve expulsada del mercado. La modernización de la producción se vería impulsada sólo por la más alta intensidad de capital de las instalaciones más eficientes; no se produciría una redistribución de la mano de obra. Una elasticidad de sustitución ex ante más alta es equivalente a un efecto más moderado de modernización producido por un incremento en la tasa de inversión<sup>10</sup>. En el gráfico, se supone una elasticidad de sustitución alta, tal que la disminución a corto plazo de la brecha de imitación es menor que en el caso masilla-pura.

A largo plazo, también para este modelo es válida la afirmación de que las altas tasas de inversión de hoy representan instalaciones antiguas de mañana. Considerando que la duración de la vida económica de los bienes de capital está determinada sólo por la velocidad del progreso técnico y la posibilidad de aumentar, por su intermedio, los salarios, la eficiencia tecnológica de la producción desciende nuevamente a su nivel original cuando los años

9 Matthews (1964) indica que también en el modelo masilla-pura, la distribución anual específica de la mano de obra está relacionada con la elasticidad de sustitución, pero que a largo plazo ella permanece independiente del nivel de la tasa de inversión. Es la elasticidad de sustitución que determina primordialmente en este modelo la intensidad de los cambios de los precios de los factores durante el proceso de ajuste y, con ello, los efectos distributivos que resultan de una intensificación del capital; la modificación de la brecha de imitación permanece, por el contrario, independiente del valor de la elasticidad de sustitución, ya que ésta es igual para antiguas como nuevas instalaciones (véase también Mc Carthy, 1967; Levhari y Sheshinski, 1967; Hu, 1972).

10 Además, desempeña un rol la formación de expectativas de los empresarios respecto al desarrollo del salario (Matthews, 1964; Park, 1968). Sin embargo, dado que las tendencias señaladas anteriormente no se ven afectadas, el tema no se trata aquí en detalle.

de fuerte inversión alcanzan paulatinamente la frontera de la rentabilidad.

*Disgresión: Mayor duración del capital*

Desde la aparición del artículo básico de Phelps (1963), se ha sostenido que un aumento de la tasa de inversión podría conducir, en este modelo, a una mayor duración en el aprovechamiento de los bienes de capital<sup>11</sup>. Este *capital lengthening* se fundamenta en el razonamiento siguiente: Un aumento en la propensión al ahorro produce una baja del interés. El abaratamiento del capital permite no sólo aumentar las nuevas inversiones, sino también hace más rentables las antiguas instalaciones. En caso de una elasticidad de sustitución mayor que uno<sup>12</sup>, el efecto de racionalización de la intensificación de capital de nuevas instalaciones resulta mayor que el efecto de expansión de las inversiones, tal que, como resultado neto, se libera mano de obra en la generación más reciente de los bienes de capital. Las instalaciones antiguas todavía en uso no están en condiciones de absorber esta mano de obra, ya que sus relaciones de insumo factorial están fijas. Por lo tanto, sólo sería pertinente la reactivación de instalaciones ya fuera de servicio o la renuncia a detenciones corrientes de actividad. En consecuencia, la vida útil de los bienes de capital se prolonga tanto que posiblemente el grado de modernidad de la producción total inclusive disminuye ante un aumento de la inversión (además de Phelps, 1963, véase por ej. Massell, 1962a; Matthews, 1964; Phelps y Yaari 1964; v. Weizsacker, 1966; Park, 1968).

Esta cadena de efectos contiene un error básico de argumentación, ya que no sólo habría que explicar por qué presumiblemente se libera la mano de obra en las instalaciones nuevas, sino también por qué debería ser apropiado a nivel microeconómico incorporar esta mano de obra nuevamente al proceso de producción en instalaciones antiguas. En el modelo masillarcilla, las antiguas instalaciones son rentables hasta tanto el valor agregado en las mismas supera los costos corrientes (Solow, 1962a). Como la creación de valor está técnicamente determinada, para que las instalaciones antiguas puedan ser utilizadas más tiempo que hasta ahora los costos variables deben disminuir. Sin embargo, el empresario puede influir en este modelo sólo en los costos de mano de obra, no así en los de capital, una vez terminada la instalación. Si las instalaciones antiguas deben ser aún objeto de pago de intereses, no depende de si las mismas son empleadas económicamente o permanecen ociosas. En este sentido, una disminución de la tasa de interés no contribuye al incremento de las cuasi rentas de las instalaciones antiguas; por el contrario, los aumentos de salario real que aparecen simultáneamente con la baja de intereses, reducen inclusive la rentabilidad

11 Las ideas básicas fueron expuestas ya por Massell (1962a); sin embargo, la primera representación detallada, así como el concepto mismo de *capital Lengthening* proviene de Phelps (1963).

12 Por razones de sencillez, se supone que son estáticas las expectativas de los empresarios. Para la argumentación en caso de expectativas adaptativas, véase Matthews (1964) y Park (1968).

de las instalaciones antiguas, tal que muchas de ellas, en mayor número que hasta ahora, deben ser paradas. Qué sucede ahora con la mano de obra liberada en las instalaciones nuevas? La solución de esta encrucijada radica en que, en presencia de una elasticidad de sustitución muy alta, no se puede tratar en absoluto de una disminución de interés, supuesto por Phelps (1963) y otros; sino que, ante variaciones pequeñas de precios de los factores, el ahorro disponible adicional es invertido totalmente<sup>13</sup>. Dado que los salarios reales suben en una proporción apenas perceptible, se mantienen en la generación más reciente de bienes de capital, aún con una alta elasticidad de sustitución, todos los puestos de trabajo, cuando se produce un fuerte incremento de la inversión.

### 3. Modelo arcilla - pura

Los modelos arcilla-pura presentan pocos problemas de decisión y optimización. Se puede influir únicamente en el volumen de las nuevas inversiones (a través de la tasa de ahorro), mientras que la intensidad de capital de cada una de las instalaciones realizadas en los diferentes años está determinada técnicamente. No existen problemas de consistencia entre la mano de obra necesaria para las instalaciones nuevas y la oferta efectiva de la misma, ya que la vida económica útil de los bienes de capital se ajusta de manera tal que se libera tanta mano de obra de las instalaciones antiguas como es utilizada en las nuevas (Eltis, 1963; Solow, *et. al*, 1965; Solow, 1970).

En equilibrio de largo plazo se llega a resultados semejantes a los del modelo masilla-arcilla (más alta intensidad de capital en las generaciones más recientes e igual insumo de trabajo en todas las generaciones útiles). Sin embargo, existe una diferencia sustancial en cuanto a la vida económica útil de las instalaciones productivas. Mientras en el caso masilla-arcilla también está determinada únicamente por la tasa de progreso técnico, en los modelos arcilla-pura, la vida útil de las instalaciones productivas se ve también afectada por el volumen de inversiones. Considerando que tampoco ex-ante se dan posibilidades de sustitución, la oferta disponible de mano de obra no alcanza, en caso de inversiones más altas, sino para la ocupación de un conjunto menor de generaciones de bienes de capital que en caso de inversión más baja.

Un incremento de la inversión en un importe determinado conduce a un aumento porcentual equivalente del insumo de trabajo y de la producción de bienes de capital de la última generación. El aumento a corto plazo de la eficiencia tecnológica resulta aquí más intensa que en los otros dos modelos. A diferencia de estos modelos, tampoco se produce a largo plazo un retroceso del grado de modernidad. Dado que la intensidad de capital de las instalaciones nuevas permanece fija, se debe parar más que una generación entera de bienes de capital para ocupar la mano de obra en los años de fuerte inversión, hasta tanto se alcance nuevamente una distribución estable

13 Phelps pierde evidentemente de vista que la disminución de interés resultante de un incremento de ahorro no es independiente de la elasticidad de sustitución.

14 Esto vale por lo menos para la función de producción lineal homogénea. No se tratan los casos de rendimiento a escala crecientes o decrecientes.

de la mano de obra en el tiempo.

Como la menor duración de las instalaciones productivas continúa subsistiendo en todos los años sucesivos, es factible en este modelo elevar a largo plazo la eficiencia tecnológica de la producción con una mayor tasa de inversión<sup>15</sup>.

#### 4. Eficiencia tecnológica y crecimiento

Es una característica común de las tres variantes del modelo el hecho de que, a largo plazo, la estructura por edades de las instalaciones productivas así como la distribución de producción e insumo de mano de obra son estables en el curso de los diferentes años. El aumento de eficiencia de los nuevos bienes de capital (que representa aquí el progreso técnico) coincide con el aumento promedio de eficiencia macroeconómica. Surge de allí que la tasa de crecimiento de equilibrio de una economía no depende —así como en el modelo del progreso no ligado— sino de la tasa de progreso técnico y del aumento de la población. A pesar del carácter del progreso técnico ligado al capital, la magnitud de la tasa de inversión no produce a largo plazo efecto alguno sobre la velocidad del crecimiento<sup>16</sup>.

El comportamiento de inversión afecta a largo plazo la eficiencia de la producción sólo en el modelo de arcilla-pura, o sea, en un mundo sin posibilidades de sustitución entre capital y trabajo; en los otros dos modelos, y en presencia de un cambio duradero en la tasa de inversión, la distancia entre la mejor tecnología posible y la tecnología promedio empleada alcanza nuevamente su antiguo nivel después de finalizar los procesos transitorios de ajuste. En el caso masilla-arcilla, el efecto de modernización, a corto plazo, de un incremento de inversión es, además, tanto menor cuanto más elástica sea la reacción de la relación de insumo de factores ante un cambio de precios relativos.

De lo expuesto no se debiera concluir que una alta elasticidad de sustitución sea, bajo estos supuestos, perjudicial para el crecimiento. El fuerte efecto de modernización, en el caso de arcilla-pura, por ejemplo, produce finalmente un desmantelamiento anticipado de las instalaciones antiguas que es considerablemente más intenso que en los otros dos modelos<sup>17</sup>.

Dado que, en general, en los modelos neoclásicos de crecimiento, las posibilidades de sustitución sólo se toman en cuenta cuando conducen a un aumento de la producción<sup>18</sup>, resulta para el sendero de crecimiento en el proceso de ajuste, exactamente lo contrario que para el sendero de tecnología: tanto mayor es la sustituibilidad de los factores de producción, tanto

15 El caso arcilla-pura es descrito detalladamente y de manera muy clara por Solow (1970).

16 Para una derivación matemática de esta afirmación, véase, por ejemplo, B. Hamberg (1963; 1971). Para la discusión sobre la relevancia práctica de la tasa de crecimiento secular, cfr. v. Weizsäcker (1966, Apéndice).

17 Phelps y Yaari (1964) remiten también a las consecuencias negativas para el crecimiento de una modernización muy rápida.

18 Esto resulta necesario si se parte de los supuestos de pleno empleo y remuneración de todos los factores según sus productividades marginales.

mejor se podrán aprovechar las posibilidades de crecimiento de una actividad más intensa de inversión también en el caso de progreso ligado al capital<sup>19</sup>.

### III RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES EMPIRICAS

Ninguno de los tres modelos que acabamos de examinar puede someterse a un test empírico inmediato con el material estadístico comúnmente disponible. No sólo debiera ser conocida la estructura cronológica del conjunto de las instalaciones productivas, sería necesario conocer, además, la distribución del insumo de mano de obra y de la producción en cada momento y en los diferentes años. Se trata de encontrar criterios simplificados de medición, susceptibles bajo determinados supuestos de identificar un progreso ligado al capital:

Si se supone que la tasa de progreso técnico neutro según Solow<sup>20</sup> es constante y la duración de la vida física de los bienes de capital fija y dada, se puede en un modelo masilla-pura calcular un indicador para el "capital efectivo", a partir de una serie suficientemente extensa de las inversiones brutas en equipamiento, susceptible de incorporarse a una función de producción corriente, en lugar del stock de capital (Solow, 1960; 1962b; 1963).

Si la calidad tecnológica de las instalaciones productivas varía sólo moderadamente a través del tiempo, la edad promedio del activo fijo bruto representa una aproximación confiable para la eficiencia del stock del capital. Una función de producción con capital y trabajo como factores de producción, así como la edad promedio del stock de capital como factor de eficiencia ofrece el principio de estimación más simple para un modelo masilla-pura (Nelson 1964; You, 1976).

La relación entre activo fijo neto y activo fijo bruto, designada como "grado de modernidad", se puede utilizar como un valor aproximado para la eficiencia tecnológica de los bienes de capital. Si las inversiones se retraen, aumenta la participación de los equipos ya amortizados en el stock de capital bruto y disminuye el grado de modernidad. Si la disminución de la tasa de inversión es prolongada, se estabiliza la estructura de edades de capital fijo y el grado de modernidad alcanza nuevamente su nivel original (Görzig, 1976, 1980).

Dado que las modificaciones de las tasas de inversión originan siempre, tanto en el caso masilla-pura como en el masilla-arcilla, sólo desvíos temporarios del sendero exponencial del progreso técnico, las fluctuaciones de la medida de los residuos de las funciones de producción se pueden interpre-

<sup>19</sup> Esto vale tanto para el ajuste de corto plazo como para el nivel del sendero de crecimiento de largo plazo (Atkinson, 1970). La adaptación al nuevo sendero de crecimiento se realiza en caso de progreso ligado aún más rápidamente que en modelos con progreso no ligado, ya que el aumento de la tasa de inversión también incrementa temporariamente el progreso técnico utilizado (Koyck y t'Hooft-Welvaars, 1965)

<sup>20</sup> Fisher (1965) muestra que también en el caso casilla-pura, ya no se puede partir de un stock de capital adicional si se abandona el supuesto de un progreso técnico Solow-neutral.

tar como una expresión del progreso ligado al capital. Si se logra establecer una relación estable entre estos desvíos de tendencia con el comportamiento de la inversión, se obtiene una prueba indirecta de la existencia del progreso ligado al capital (Massell, 1962b)<sup>21</sup>.

Para la determinación de los parámetros individuales se pueden utilizar sea procedimientos de estimación de análisis de regresión o particiones de componentes. Además, algunos autores hacen uso de la posibilidad, de dar por sentados algunos valores de parámetros, en procedimientos *trial-and-error*, para alcanzar, en conjunto, resultados plausibles (ver, por ej., Solow, 1962b).

En las aplicaciones prácticas domina el modelo masilla-pura, ya que presenta las menores exigencias en cuanto a la base de información. Una mirada a los resultados de estudios empíricos indica que, aún para períodos muy cercanos de la investigación, se obtuvieron coeficientes de progreso muy diferentes; Intriligator (1965) y Frisch (1968), basándose en material estadístico idéntico, llegan a coeficientes diferentes. Por otra parte, la relevancia del progreso ligado al capital es totalmente negada en siete de los dieciocho estudios cuyos resultados se señalan en la tabla insertada a continuación.

Uno de los resultados más interesantes lo ofrece Nelson (1964). Este autor no observa ninguna influencia del progreso ligado al capital sobre el crecimiento económico para el lapso conjunto de su investigación, pero sí para los subperíodos individualmente considerados. Ello concuerda que la expectativa fundada teóricamente que el progreso ligado al capital no puede explicar sino desviaciones de la tendencia del crecimiento a largo plazo, pero no la tendencia misma.

Los resultados empíricos parecen expresar también el espíritu dominante de la época, ya que es llamativo que el esquema de bienes de capital por generaciones fue confirmado a comienzo de los años sesenta y rechazado en el período posterior. Ello podría estar relacionado con el avance, ya antes mencionado, de los estudios sobre el capital humano, que desviaron el interés de la investigación de la formación del capital físico. La fijación de objetivos del investigador ejerce siempre alguna influencia sobre los resultados, tal que, aún en el caso de investigaciones econométricas metodológicamente irreprochables, se podría considerar apresurado un rechazo de la hipótesis de bienes de capital por generaciones, a causa de ausencia de confirmación empírica<sup>23</sup>. Los resultados positivos obtenidos en algunos trabajos

21 Massell supone, además, que la influencia de las inversiones sobre este componente ligado al capital disminuye conforme a una serie geométrica a medida que aumenta la edad. Con ayuda de una transformación de Koyck, se puede entonces atribuir el progreso ligado al capital sólo a los gastos de inversión del período anterior. La utilidad práctica de esta tentadora formulación simple está seriamente restringida por problemas de consistencia metodológica, que no admiten una estimación econométrica según el método de mínimos cuadrados (Kmeta, 1971).

22 Los valores numéricos de los resultados se refieren a tasa de progreso, no al aumento de producción. Este último se calcula a partir del producto entre la tasa del progreso y la elasticidad de producción del capital. Algunas de las investigaciones indicadas en el cuadro son comentadas más detenidamente por Kennedy y Thirlwall (1973).

23 Oppenländer (1976) estima inclusive que algunos autores se propusieron desde un principio rechazar al progreso ligado al capital como insignificante.

recientes señalan la posibilidad de un retorno del interés de investigación desde el capital humano al capital físico, como agente del crecimiento económico.

Con todo, el cuadro heterogéneo de las investigaciones empíricas despierta una duda si los modelos que acabamos de examinar pueden representar adecuadamente el cambio técnico que se manifiesta en el mundo real. Por lo tanto, parece indicado abordar en este lugar un examen detenido de las críticas que se dirigen al concepto de un progreso ligado al capital.

SINTESIS DE MEDICIONES EMPIRICAS  
DEL PROGRESO LIGADO AL CAPITAL

Fuente		Período	Resultado (a)
Solow, 1960	Masilla-pura	1919-1953	3%
Solow, 1962b	Masilla-pura	1929-1961	2-4%
Massell, 1962b	Masilla-pura	1919-1958	—
Solow, 1963	Masilla-pura	1929-1957	5%
Nelson, 1964	Masilla-pura	1929-1960	2%
Intriligator, 1965	Masilla-pura	1929-1958	4%
Berglas, 1965	Masilla-pura	1929-1960	—
Frisch, 1968	Masilla-pura	1929-1958	5%
Lydall, 1969	Corte transversal	1950-1960	—
Hesse, 1969	Masilla-pura	1950-1965	15%
Wickens, 1970	Masilla-pura	1900-1960	—
Isard, 1973	Masilla-arcilla	1948-1967	3%
Görzig, 1967b	Masilla-arcilla	1960-1971	—
You, 1976	Masilla-pura	1929-1968	—
Barger, 1976	Masilla-pura	1950-1971	+
Görzig, 1980	Arcilla-pura	1960-1977	+
Mc Hugh y Lane, 1983	Masilla-pura	1960-1972	—
Mizon y Nickell, 1983	Masilla-arcilla	1956-1976	6%

Nota: (a) Los valores porcentuales indican el aumento anual medio de eficiencia del capital; “+” representa resultados estadísticos verificados pero no cuantificables; “—” representa resultados no verificados.

IV. TECNICAS SUSTITUTIVAS O COMPLEMENTARIAS  
CRITICAS DE LOS MODELOS DE BIENES DE CAPITAL POR GENERACIONES

Las objeciones en la teoría neoclásica del crecimiento a los esquemas teóricos considerados se pueden agrupar en dos grandes categorías: (a) una crítica de las técnicas de medición y (b) una crítica de las premisas.

Algunos autores rechazan este concepto por no ser operativo. Parten de una afirmación incontrastable que los efectos de un progreso ligado al capital no pueden ser identificados y medidos sino por desviaciones transitorias de la tendencia de desarrollo a largo plazo. Pero estos desvíos aparecen

también cuando la tasa de progreso no ligado fluctúa a través del tiempo o si el insumo de factores no puede ser medido con precisión. Por lo tanto, los efectos del progreso técnico ligado al capital no se podrán aislar jamás de manera inobjetable, en tanto no se tuviera éxito en excluir errores de medición en otras fuentes del crecimiento (Jorgenson, 1966; Griliches y Jorgenson, 1967; Smallwood, 1970; Borger, 1976; Bayley, 1981a; 1981b).

Esta objeción a la posibilidad de cuantificación de un progreso ligado está plenamente justificada; sin embargo, ella no puede alcanzar a la construcción teórica de este concepto. Así pues, lo que no es cuantificable no debe por ello carecer de importancia. Para la relevancia de la acumulación del capital en el marco de la política de crecimiento, constituye una diferencia si, por ejemplo, una interrupción del crecimiento obedece a una retracción de la actividad de innovación, si resulta de una desvalorización (estadísticamente no medible) del capital o si se debe a un impedimento de la difusión de innovaciones técnicas como consecuencia de una merma de la inversión.

La crítica de Denison (1964) a las premisas<sup>24</sup> parece de mayor peso. Según este autor, no todos los bienes de inversión de una generación serían, por regla general, técnicamente superiores a los bienes respectivos producidos en el período anterior y que, además, las instalaciones antiguas a menudo son susceptibles de ser llevadas al estado tecnológico más avanzado mediante la adecuación correspondiente. Vale la pena considerar este argumento más de cerca. El problema básico de todas las formulaciones de todos los modelos de bienes de capital por generaciones radica presumiblemente en el supuesto que el progreso técnico afecta de manera uniforme a todos los bienes de capital nuevos y que las instalaciones antiguas no se podrían usar conjuntamente con las nuevas. Pero en la realidad, podrían darse los siguientes tipos básicos de bienes de inversión:

— La técnica es invariable en comparación con generaciones más antiguas.

— La técnica está mejorada y nuevos bienes de capital se pueden combinar con las instalaciones existentes (tecnología complementaria).

— La técnica está mejorada y los nuevos bienes de capital se pueden combinar con una parte de las instalaciones antiguas; otra parte, al contrario, se convierte en chatarra (tecnología parcialmente complementaria).

— La nueva técnica se puede incorporar sólo mediante el desplazamiento de todas las instalaciones antiguas (tecnología sustitutiva).

En todos estos casos, el progreso técnico, siempre que aparezca, está ligado al capital. Sin embargo, el concepto de bienes de capital por generaciones sólo ofrece un cuadro confiable de la realidad, si las inversiones adoptan exclusivamente la última forma mencionada. Si los cuatro tipos

<sup>24</sup> La referencia de Nelson (1964) a interdependencias y complementariedades en el proceso de crecimiento puede ser considerada como una crítica a las premisas. El autor cree básicamente por sospechoso querer analizar aisladamente la contribución de diferentes fuentes del crecimiento. Este argumento afecta los fundamentos de la misma teoría. Es lamentable que el autor toma como único ejemplo el caso del progreso ligado al capital. Más tarde amplía esta crítica al conjunto de las formulaciones de *growth-accounting* (Nelson, 1973).

aparecen juntos, parece suficiente entonces asegurar un cierto nivel mínimo de inversiones para incorporar por lo menos innovaciones complementarias en todos los ámbitos de la producción.

Las modificaciones de la actividad de inversión tendrían entonces otras consecuencias totalmente distintas para el grado de modernidad de la producción que las correspondientes al modelo puro. De hecho, si se parte del supuesto de que un caudal creciente de conocimientos técnicos aumenta en forma exponencial y a tasa constante la necesidad de inversión para dotar a las instalaciones antiguas con nuevas tecnologías complementarias, un retroceso importante del volumen de inversiones puede disminuir a la larga la eficiencia de la producción y especialmente, cuando también se ven afectadas estas inversiones complementarias. Esto conduce a una disminución perdurable del aumento de eficiencia (ligada al capital) de la producción en las instalaciones antiguas, que continúa bajando aún cuando la edad promedio del stock de capital alcanza nuevamente su antiguo nivel. Por lo tanto, las consecuencias de una insuficiencia de la inversión no se limitan, en el caso del progreso técnico ligado al capital con tecnología complementaria, a la variación —transitoria— de la relación entre instalaciones antiguas y nuevas, sino que abarcan, además, un menor grado de modernización de las instalaciones antiguas. Una fuerte expansión de los gastos de inversión —a diferencia de los modelos convencionales de bienes de capital por generaciones— no contribuye a aumentar adicionalmente la eficiencia tecnológica, dado que (si se hallan agotadas las posibilidades de incorporación para nuevas tecnologías complementarias y sustitutivas) los mismos deberían dirigirse, en gran parte, hacia instalaciones productivas no perfectibles tecnológicamente.

Por lo tanto, no es suficiente distinguir entre progresos técnicos ligado y no ligado a fin de apreciar las consecuencias que una modificación de la actividad de inversión produce para la difusión de nuevas tecnologías; se trata también de considerar posibilidades de combinación entre técnicas antiguas y técnicas modernas. Los estudios de caso microeconómicos en los que se analice la difusión de innovaciones técnicas, podrían ofrecer alguna indicación para la relevancia práctica de este tema. En efecto, mientras en la teoría macroeconómica del crecimiento, la línea divisoria corre entre la tasa de progreso técnico y el aumento de eficiencia de los factores de producción, se debe establecer desde el punto de vista microeconómico la diferencia entre innovación y difusión de nuevas tecnologías. La presente investigación tiene, sin duda, otro objetivo que el tema que acabamos de tratar; sin embargo se podrían rescatar algunas conclusiones de los trabajos microeconómicos sobre la innovación, las que se exponen a continuación.

#### V. PROGRESO LIGADO AL CAPITAL A LA LUZ DE LA INVESTIGACION MICROECONOMICA DE LA INNOVACION

A partir de la multiplicidad de estudios de caso se pueden recoger va-

rios indicios que avalan la presunción que la difusión de nuevas técnicas de producción está, por regla general, asociada a la incorporación de nuevos bienes de inversión; es decir, la mayor parte del progreso técnico podría considerarse ligado al capital.

(i) Las nuevas instalaciones productivas son, por lo general, más eficientes que las más antiguas (Gregory y James, 1973, 1975) muestran en una investigación sobre la economía australiana, que la productividad promedio de la mano de obra es del diez al dieciocho por ciento más alta en los establecimientos menores de dos años<sup>25</sup> que en el conjunto del sector económico correspondiente<sup>26</sup>. A resultados análogos arriba también Gomulka (1976) para la industria polaca y Wohlin (1970; 1973) para la silvicultura y la industria del papel en Suecia. Sin embargo, no se esperaría ninguna diferencia significativa entre los niveles de productividad en instalaciones productivas nuevas y más antiguas en caso de progreso técnico no ligado al capital.

(ii) Los costos de inversión desempeñan un rol importante en la toma de decisión de los empresarios respecto a la incorporación de nuevos procedimientos de producción. La velocidad de difusión de las innovaciones depende, según Mansfield, de varios factores entre los cuales esta clase de costos tiene un peso considerable. Mansfield inicia sus investigaciones considerando el caso de las locomotoras Diesel (Mansfield, 1961; 1963), analiza más tarde doce innovaciones en cuatro sectores económicos diferentes (1968) y, finalmente, realiza una encuesta en trescientas empresas sobre las razones determinantes para la incorporación de máquinas herramientas automáticas (1973). Los costos de inversión resultan en todos los casos el parámetro más importante en la explicación de comportamiento de imitación<sup>27</sup>. Resulta de una investigación más reciente que los costos totales de imitación (adaptación de la nueva técnica a los propias condiciones de producción, inversiones reales, mercadeo) representan aproximadamente dos tercios de los costos en que debe incurrir el innovador para el desarrollo e introducción de las nuevas técnicas. (Mansfield *et. al*, 1981)<sup>28</sup>. El significado comprobado empíricamente de los costos de inversión para la difusión de las actividades de imitación de las empresas permite llegar a la conclusión que, por lo menos las innovaciones estudiadas en el modelo de Mansfield, representan un progreso ligado al capital.

iii) La transferencia intersectorial de tecnología acontece preferentemente mediante el suministro de bienes de inversión.

25 Se considera como nuevo un establecimiento construido sobre un terreno hasta ahora no utilizado para fines industriales. Las construcciones de ampliación no son tenidas en consideración.

26 Consideran que esta diferencia no es estadísticamente significativa, aún cuando Haig (1975) indica que los tests de significación empleados por Gregory y James no están libres de error. Para Haig, es plenamente significativa la eficiencia superior al promedio de las nuevas instalaciones.

27 Romeo (1975; 1977) llega a resultados correspondientes a partir de un esquema análogo. Véase también Schwartz (1975).

28 El autor no distingue en su trabajo las tres clases de costos de imitación; pero se puede presumir que las inversiones materiales, de las que aquí se trata, constituyen una parte sustancial de los costos de imitación.

El empleo de nuevas tecnologías está considerablemente más diseminado en los diferentes sectores de una economía que su investigación y desarrollo. Sin lugar a dudas, se registran sensibles diferencias sectoriales en el avance de las técnicas empleadas, pero éstas no son de lejos tan marcadas como la diversidad de especialización en las actividades de investigación y desarrollo de los sectores individuales. De ello se puede inferir la existencia de una considerable transferencia intersectorial de tecnología del productor al usuario de las nuevas técnicas. Esta transferencia debería efectuarse principalmente a través del suministro de insumos de alto valor tecnológico y de bienes de inversión. Scherer (1987) señala que para la economía de los Estados Unidos, tres cuartos de todas las aplicaciones industriales de investigación y desarrollo recaen sobre productos y procesos que las empresas no utilizan en los procesos propios de producción, sino fuera de las mismas. Surge de esta investigación, basada en datos recogidos en varios cientos de grandes empresas americanas, la existencia de una relación estrecha entre el aumento de productividad en las empresas individuales y las nuevas tecnologías incorporadas a las mismas en forma de bienes de inversión producidas por otras empresas. En cambio, la relación entre el desarrollo de productividad y los trabajos de investigación realizados en la propia empresa o con las nuevas tecnologías aplicadas en forma de insumos se manifiesta claramente en forma más débil. Scherer estima que estos resultados constituyen una confirmación positiva, si bien no concluyente, de la hipótesis fundamental en que se apoyan los modelos de bienes de capital por generaciones.

También los estudios del progreso técnico a nivel microeconómico apoyan, sin excepción, la presunción que el modelo de un progreso ligado al capital antes que un modelo del progreso no ligado refleja cambio técnico tal como se verifica en el mundo real. A la luz de las investigaciones empíricas existentes, resulta considerablemente más difícil responder la pregunta sobre el carácter complementario o sustitutivo de las nuevas técnicas en relación a las técnicas más antiguas. Hasta ahora, no conocemos ningún trabajo que se ocupe explícitamente de este tema. La consideración sistemática de estudios de casos, donde se debiera probar si y en qué medida, con la introducción de nuevas técnicas, se debieron paralizar o pudieron continuar siendo empleadas las instalaciones de producción más antiguas es susceptible de aclarar esta duda.

Un análisis detallado de la difusión de innovaciones seleccionadas —diez en total— fue realizado por un grupo internacional de expertos a fin de los años '60 y principio de los años '70 (Ray, 1969; Nabseth y Ray, 1974)<sup>29</sup>. Para cuatro innovaciones<sup>30</sup> fue necesario recurrir a considerables transformaciones de las instalaciones existentes, antes que pudieran ser incorporadas las nuevas técnicas productivas. Estas innovaciones se pueden

<sup>29</sup> Se debe a Ray (1969) el informe preliminar y a Nabseth y Ray (1974) el informe final a este proyecto. Dado que en el informe final no se tratan sino ocho de las diez innovaciones originales, nuestras consideraciones se refieren principalmente al informe preliminar.

<sup>30</sup> Proceso acero oxígeno; fundición de vías de acero; hornos túnel en la industria de ladrillos; proceso de vidrio flotante.

considerar como sustitutivas respecto a las técnicas más antiguas. Cinco<sup>31</sup>, al contrario, se pudieron integrar sin dificultad en los procesos de producción existentes, tal que pueden ser designadas complementarias. Finalmente, una de las innovaciones<sup>32</sup> no estaba ligada en absoluto a la incorporación de bienes de capital. Una investigación adicional ofrece Davies (1979), quien agrupa veintidos innovaciones en cuatro categorías<sup>33</sup>, de las cuales las dos primeras corresponden ampliamente a las técnicas complementarias y las dos últimas a las sustitutivas. Después de esta subdivisión, doce de las innovaciones analizadas por Davies se pueden considerar complementarias y diez sustitutivas en relación a las técnicas más antiguas.

Es extremadamente difícil trazar una línea de división neta entre las técnicas sustitutiva y complementarias; la transición es fluida. Presumiblemente, tampoco es uniforme en todas las empresas el proceso de transformación o inclusive de desmantelamiento de instalaciones, registrado por la introducción de una nueva técnica<sup>34</sup>. Finalmente, no se trata sólo de la flexibilidad de la técnica nueva sino asimismo de la técnica antigua. Posiblemente las dificultades son especialmente elevadas allí donde se fabrican productos estandarizados en grandes cantidades; en efecto, en estas industrias, la presión de la competencia impulsa a una fuerte especialización de las instalaciones productivas, lo cual afecta negativamente su capacidad de adaptación a nuevas técnicas de producción (Gold, 1978).

Para concluir, queda comprobado que los modelos de bienes de capital por generaciones son injustamente descuidadas en la investigación económica contemporánea, ya que existen fuertes indicios en favor de la vinculación del progreso técnico al capital. Sin embargo, estos modelos necesitan de desarrollos ulteriores, ya que se limitan a considerar relaciones sustitutivas entre las técnicas nuevas y antiguas, dejando fuera de su marco a las complementarias. El crecimiento de eficiencia de la modernización de instalaciones productivas más antiguas reequipándolas con nuevos bienes de inversión no está comprendido en los modelos tradicionales, aunque los mismos podrían tener relevancia práctica considerable tal como lo señalan los resultados de la investigación microeconómica de la inversión. Todo ello recalca el rol central que le corresponde a la inversión en el proceso de crecimiento económico.

Henning Klodt

*Institut für Weltwirtschaft an der Universität, Kilel*

- 
- 31 Prensas especiales en industria papelera; máquinas herramientas NC; procesos de impulso y corte en la industria naval; máquinas de tejer sin resguardo; calles de transferencia automática en la construcción de motores.
- 32 Empleo de ácido Gibberellin en la maltería.
- 33 "Suplementario", "Automación envolvente", "Reemplazo de tecnología antigua ligada al capital", "Incorporando una nueva función" (Davies, 1979, pág. 38 y ss.)
- 34 Ray(1969) destaca, por ejemplo, claras diferencias en la capacidad de ajuste de empresas individuales de la industria textil a la nueva técnica de máquinas de tejer sin resguardo.

REFERENCIAS

- ARROW, K. J., "The Economic Implications of Learning by Doing". *The Review of Economic Studies*, vol. 29, 1962, pp. 155-173.
- ATKINSON, A. B., "On Embodiment and Savings". *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 84., 1970, pp. 127-133.
- BAILY, M. N. (1981a), "Productivity and the Services of Capital and Labor". *Brookings Papers on Economic Activity*, 1981, pp. 1-50.
- (1981b), "The Productivity Growth Slowdown and Capital Accumulation". *The American Economic Review*, Papers and Proceedings, vol. 71, 1981, pp. 326-331.
- BARGER, H. "Embodied versus Disembodied Improvements". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 58, 1976, pp. 372-375.
- BERGLAS, E., "Investment and Technological Change". *The Journal of Political Economy*, vol. 73, 1965, pp. 173-180.
- BOSWORTH, B. P., "Capital Formation and Economic Policy". *Brookings Papers on Economic Activity*, 1982, pp. 283-317.
- DAVIES, S. *The Diffusion of Process Innovations*. Cambridge 1979.
- DENISON, E. F., *The Sources of Economic Growth in the United States and the Alternatives Before us*. Committee on Economic Development. Supplementary Paper N° 13, Nueva York 1962.
- , "The Unimportance of the Embodied Question". *The American Economic Review*, vol. 54, 1964, pp. 90-94.
- , *Accounting for Slower Economic Growth: The United States in the 1970's*. Washington, D. C., 1979.
- , "The Puzzling Setback to Productivity Growth". *Challenge*, vol. 23, 1980, pp. 3-8.
- ELTIS, W. A., "Investment, Technical Progress and Economic Growth". *Oxford Economic Papers*, N. S., vol. 15, 1963, pp. 32-52.
- FISHER, F. M., "Embodied Technical Change and the Existence of an Aggregate Capital Stock". *The Review of Economic Studies*, vol. 32, 1965, pp. 263-288.
- FRISCH, H., *Gebundener technischer Fortschritt und wirtschaftliches Wachstum*. Berlin 1968.
- GÖRZIG, B. (1976a), *Die Altersstruktur des Anlagevermögens in der Bundesrepublik Deutschland*. Berlin 1976.
- (1976b), "Results of a Vintage-Capital Model for the Federal Republic of Germany". *Empirical Economics*, vol. 1, 1976, pp. 153-166.
- , "Der Einfluss des investitionsgebundenen technischen Wandels auf die Arbeitsproduktivität". En: Gottfried Bombach, Bernhard Gahlen y Alfred E. Ott (comp.), *Neuere Entwicklungen in der Investitionstheorie und-politik*. Tübingen 1980, pp. 453-475.
- GOLD, B. "On the Role of Capital in Production: A Revision of Some Basic Concepts". En: Centre National de la Recherche Scientifique (comp.), *Le Capital dans la Fonction de Production*, Paris 1978, pp. 17-61.
- GOMULKA, S., "Do New Factories Embody Best Practice Technology? - New Evidence". *The Economic Journal*, vol. 86, 1976, pp. 859-863.
- GREGORY, R. G., D. W. JAMES, "Do New Factories Embody Best Practice Technology?". *The Economic Journal*, vol. 83, 1973, pp. 1133-1155.
- , —, "Do New Factories Embody Best Practice Technology? - A Reply". *The Economic Journal*, vol. 85, 1975, pp. 383-388.
- GRILICHES, Z. D., W. JORGENSEN, "The Explanation of Productivity Change". *The Review of Economic Studies*, vol. 34, 1967, pp. 249-283.
- HAHN, F. H, R. C. O. MATTHEWS, "The Theory of Economic Growth: A Survey". En: The Royal Economic Society (comp.), *Surveys of Economic Theory*, vol. II, *Growth and Development*, Nueva York 1965, pp. 1-124.
- HAIG, B. D., "Do New Factories Embody Best Practice Technology? A Comment". *The Economic Journal*, vol. 85, 1975, pp. 378-382.
- HAMBERG, D., "Investment and Economic Growth". *Metroeconomica*, vol. 15, 1963, pp. 8-10.
- , *Models of Economic Growth*, Nueva York 1971.
- HESSE, H. "Die Merbarkeit des technischen Fortschritts, dargestellt am Beispiel der Textilindustrie". *Zeitschrift für Allgemeine und Textile Marktwirtschaft*, Sonderheft, 1969, pp. 7-37.

- HU, Sh. Ch., "On Embodiment and Disembodiment". *Australian Economic Papers*, vol. 11, 1972, pp. 210-219.
- INTRILIGATOR, M.D., "Embodied Technical Change and Productivity in the United States 1929-1958". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 47, 1965, pp. 65-70.
- ISARD, P., "Employment Impacts of Textile Imports and Investment A Vintage Capital Model". *The American Economic Review*, vol. 63, 1973, pp. 402-416.
- JOHANSEN, L., "Substitution versus Fixed Production Coefficients in the Theory of Economic Growth: A Synthesis". *Econometrica*, vol. 27, 1959, pp. 157-176.
- JORGENSON, D.W., "The Embodiment Hypothesis". *The Journal of Political Economy*, vol. 74, 1966, pp. 1-17.
- KALDOR, N., "Capital Accumulation and Economic Growth". En: Friedrich Lutz, *The Theory of Capital*. London 1961, pp. 177-222.
- , A. MIRRLEES, "A New Model of Economic Growth". *The Review of Economic Studies*, vol. 29, 1962, pp. 174-190.
- KENDRICK, J.W., "International Comparisons of Recent Productivity Trends". En: American Enterprise Institute, *Essays on Contemporary Economic Problems. Demand, Productivity, and Population*. Washington, D.C., 1981, pp. 125-170.
- KENNEDY, C.A., P. THIRLWALL, "Technical Progress". En: The Royal Economic Society, The Social Science Research Council (comp.), *Surveys of Applied Economics*, vol. I, Londres 1973, pp. 115-176.
- KMENTA, J., *Elements of Econometrics*. Nueva York 1971.
- KOYCK, L.M., M. J. THOOF-WELVAARS, "Economic Growth, Marginal Productivity of Capital and the Rate of Interest". En: Frank H. Hahn, F.P.R. Brechling, (comp.), *The Theory of Interest Rates*. Londres 1965, pp. 242-260.
- LEVHARI, O., E. SHESHINSKI, "On the Sensitivity of the Level of Output to Savings: Embodiment and Disembodiment". *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 81, 1967, pp. 524-528.
- LYDALL, H. F., "Technical Progress in Australian Manufacturing". *The Economic Journal*, vol. 78, 1968, pp. 807-826.
- MANSFIELD, E., "Technical Change and the Rate of Imitation". *Econometrica*, vol. 29, 1961, pp. 741-766.
- , "Intrafirm Rates of Diffusion of an Innovation". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 45, 1963, pp. 348-359.
- , *Industrial Research and Technological Innovation: An Econometric Analysis*. Nueva York 1968.
- , "Determinants of the Speed of Application of New Technology". En: Bruce Rodda Williams, *Science and Technology in Economic Growth*. (Comp.), Londres 1973, pp. 190-216.
- , M. SCHWARTZ, S. WAGNER, "Imitation Costs and Patents: An Empirical Study". *The Economic Journal*, vol. 91, 1981, pp. 907-918.
- MASSELL, B. F. (1962a), "Investment, Innovation and Growth". *Econometrica*, vol. 30, 1962, pp. 239-252.
- (1962b), "Is Investment Rally Unimportant?" *Metroeconomica*, vol. 14, 1962, pp. 65-85.
- MATTHEWS, R.C.O., "The New View of Investment: A Comment". *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 78, 1964, pp. 164-172.
- McCARTHY, M.D., "Embodied and Disembodied Technical Progress in the Constant Elasticity of Substitution Production Function". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 47, 1967, pp. 71-75.
- McHUGH, R. J. LANE, "The Embodiment Hypothesis: An Interregional Test". *Review of Economics and Statistics*, vol. 65, 1983, pp. 323-327.
- MINCER, J., "Investment in Human Capital and Personal Income Distribution". *The Journal of Political Economy*, vol. 66, 1958, pp. 281-302.
- MIZON, G., S. NICKELL, "Vintage Production Models of U.K. Manufacturing Industry" *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 85, 1983, pp. 295-310.
- NABSETH, L., G.F. RAY (comp.), *The Diffusion of New Industrial Processes. An International Study*. Londres, 1974.
- NELSON, R.R., "Aggregate Production Functions and Medium-Range Growth Projections". *The American Economic Review*, vol. 54, 1964, pp. 575-606.
- , "Recent Exercises in Growth Accounting: New Understanding of Dead End?". *The Ame-*

- rican *Economic Review*, vol. 63, 1973, pp. 462-468.
- OPPENLÄNDER, K.H., *Investitionsinduzierter technischer Fortschritt*. Berlín 1976.
- PARK, S.Y., "Substitution, Fixed Proportions, and Growth". *International Economic Review*, vol. 9, 1968, pp. 307-314.
- PHELPS, E.S., "The New View of Investment: A Neoclassical Analysis". *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 76, 1962, pp. 548-567.
- , "Substitution, Fixed Proportions, Growth and Distribution". *International Economic Review*, vol. 4, 1963, pp. 265-288.
- , M. E. YAARI, "The New View of Investment: Reply". *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 78, 1964, pp. 172-176.
- RAY, G.E., "The Diffusion of New Technology: A Study on Ten Processes in Nine Industries". *National Institute Economic Review*, vol. 48, 1969, pp. 40-83.
- ROMEO, A.A., "Interindustry and Interfirm Differences in the Rate of Diffusions of an Innovation". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 57, 1975, pp. 311-319.
- , "The Rate of Limitation of a Capital-Embodied Process Innovation". *Economica*, vol. 44, 1977, pp. 63-69.
- SALTER, W.E.G., *Productivity and Technical Change*. Cambridge 1960.
- , "Productivity Growth and Accumulation as Historical Processes". En: Edward A. G. Robinson (comp.), *Problems in Economic Development*. Londres, 1965, pp. 266-291.
- SCHERER, F.M., "Inter-Industry Technology Flows and Productivity Growth". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 64, 1982, pp. 627-643.
- SHULTZ, T.W., "Capital Formation by Education". *The Journal of Political Economy*, vol. 68, 1960, pp. 571-583.
- SCHWARTZ, M., *The Imitation and Diffusion of Industrial Innovations*. University of Pennsylvania, Philadelphia 1978.
- SHESHINSKI, E., "Balanced Growth and Stability in the Johansen Vintage Model". *The Review of Economic Studies*, vol. 34, 1967, pp. 239-248.
- SMALLWOOD, D.E., "Problems of Indeterminacy with the Fixed Coefficients Vintage Model". *Yale Economic Essays*, vol. 10, 1970, pp. 45-76.
- SMITH, A., *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. (1ª ed.), Londres 1776. Reimpreso en: R. H. Campbell y A. S. Skinner (comp.), Oxford 1976.
- SOLOW, R.M., "Investment and Technical Progress". En: Kenneth Arrow, Samuel-Karlin y Patrick Suppes (ed.), *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford 1960, pp. 89-104.
- (1962a), "Substitution and Fixed Proportions in the Theory of Capital". *The Review of Economic Studies*, vol. 29, 1962, pp. 207-218.
- (1962b), "Technical Progress, Capital Formation, and Economic Growth". *The American Economic Review*, vol. 52, 1962, pp. 76-86.
- , *Capital Theory and the Rate of Return*. Amsterdam, 1963.
- , *Growth Theory An Exposition*. Oxford 1970.
- , J. TOBIN, C.C. VON WEIZSÄCKER, M. E. YAARI, "Neoclassical Growth with Fixed Factor Proportions", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 33, 1966, pp. 79-115.
- VON WIEZSÄCKER, C.C., *Zur ökonomischen Theorie des technischen Fortschritts*. Göttingen 1966.
- WICKENS, M.R., "Estimation of the Vintage Cobb-Douglas Production Function for the United States, 1900-1960". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 52, 1970, pp. 187-193.
- WOHLIN, L., "Structural Change in the Forest Industries". *Skandinaviska Banken Quarterly Review*, vol. 51, 1970, pp. 123-129.
- , *The Use of a Capital-Vintage Model in Long-Term Forecasting of Technical Progress and Structural Change*. Stockholm 1973.
- YOU, J.K., "Embodied and Disembodied Technical Progress in the United States, 1929-1968". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 58, 1976, pp. 123-127.

The first part of the paper is devoted to a discussion of the general theory of the subject. It is shown that the theory is based on the principle of least action, and that the equations of motion can be derived from this principle. The second part of the paper is devoted to a discussion of the special case of a particle moving in a potential field. It is shown that the equations of motion can be solved in this case, and that the solution is in the form of a series of powers of the potential. The third part of the paper is devoted to a discussion of the case of a particle moving in a magnetic field. It is shown that the equations of motion can be solved in this case, and that the solution is in the form of a series of powers of the magnetic field.

The fourth part of the paper is devoted to a discussion of the case of a particle moving in a gravitational field. It is shown that the equations of motion can be solved in this case, and that the solution is in the form of a series of powers of the gravitational field. The fifth part of the paper is devoted to a discussion of the case of a particle moving in a field of forces. It is shown that the equations of motion can be solved in this case, and that the solution is in the form of a series of powers of the forces. The sixth part of the paper is devoted to a discussion of the case of a particle moving in a field of forces and a magnetic field. It is shown that the equations of motion can be solved in this case, and that the solution is in the form of a series of powers of the forces and the magnetic field.

The seventh part of the paper is devoted to a discussion of the case of a particle moving in a field of forces, a magnetic field, and a gravitational field. It is shown that the equations of motion can be solved in this case, and that the solution is in the form of a series of powers of the forces, the magnetic field, and the gravitational field. The eighth part of the paper is devoted to a discussion of the case of a particle moving in a field of forces, a magnetic field, a gravitational field, and a field of forces. It is shown that the equations of motion can be solved in this case, and that the solution is in the form of a series of powers of the forces, the magnetic field, the gravitational field, and the field of forces.