

CRECIMIENTO ENDÓGENO Y CAMBIO ESTRUCTURAL EN UN MODELO DINÁMICO DE INSUMO PRODUCTO

BART LOS*

Resumen

En este trabajo se introduce un modelo simple de insumo producto, que incluye los aspectos más importantes de la reciente teoría de crecimiento interno: innovación, difusión del conocimiento (knowledge spillovers), rendimientos constantes de escala a nivel macro y pleno empleo. El deseo de mantener este modelo híbrido lo más manejable posible (no obstante lo detallado de la industria) ocasiona algunas simplificaciones sustanciales: contrario a la mayoría de los modelos de crecimiento interno, el modelo carece de una base microeconómica explícita y pasa por alto cualquier oportunidad de sustitución instantánea. Después de presentar las ecuaciones, se estudia el comportamiento a largo plazo por medio de una serie de simulaciones por computadora para el caso de una economía hipotética. El trabajo concluye con algunos ejemplos de las posibilidades de integrar en futuros modelos de crecimiento interno interindustrial elementos como tecnología, inversión, intercambio comercial y educación.

Clasificación JEL: C67; E17

Recibido: 19 de octubre de 2000.
Enviado a dictamen: 20 de octubre de 2000.
Aceptado: 23 de febrero de 2001.

Introducción

Desde mediados de los años ochenta, los análisis de insumo producto (IP) han quedado fuera de las corrientes económicas más importantes. Publicaciones periódicas como *Econometrica*, *Review of Economics and Statistics* y *Quarterly Journal of Economics* dejaron de publicar trabajos sobre IP, mientras que son pocos los economistas de alto nivel que parecen mostrar algún interés del avance en el campo del análisis IP.¹ No es una situación muy agradable por cierto, ya que IP todavía tiene posibilidades para jugar el papel fundamental que mencionó Wassily Leontief, padre fundador de este tipo de análisis, en el prólogo del primer número de *Economic System Research*:

Input-output analysis is a general methodological approach designed to reduce the steadily widening gap between factual observation and deductive theoretical reasoning that threatens to compromise the integrity of economics as an empirical science [Leontief, 1989:3].**

¿Por qué el análisis de IP ha quedado fuera de las principales corrientes económicas (o por qué la han dejado fuera)? En mi opinión, pueden identificarse cuatro causas principales. Primera: desde mediados de los años setenta comenzó a perderse fe en que los mecanismos del mercado pudiesen desembocar en soluciones “socialmente óptimas”. En consecuencia, se perdió todo interés por la planeación gubernamental, para la que el IP era un instrumento de análisis muy útil. Segunda: la creencia cada vez mayor de que la teoría macroeconómica debería enraizarse en las bases microeconómicas. Ya que el IP considera las industrias, en tanto que formadas por múltiples empresas, como la unidad de análisis más pequeña, y

* Facultad de Economía e Instituto de Investigaciones SOM, University of Groningen. Correo electrónico: <b.los@eco.rug.nl>.

Este artículo recibió el premio “The Leontief Memorial Prize” en The Thirteenth International Conference on Input-Output Technique en Macerata, Italia el 22 de agosto de 2000. Originalmente se publicó en inglés en la revista *Economic Systems Research* (ESR) [marzo de 2001, vol. 13, pp. 3-34]. Se agradece al editor de esa publicación, Erik Dietzenbacher, su autorización para publicar la traducción al español. Para la edición al español, el autor añade algunas ideas recomendadas por un árbitro anónimo.

¹ Esta afirmación se refiere más bien al análisis de IP tradicional. Las publicaciones periódicas más importantes con tendencia a presentar trabajos empíricos a veces incluyen aportaciones a los modelos del tipo CGE y flujos tecnológicos interindustriales.

** “El análisis de insumo producto es un enfoque metodológico para cerrar la brecha cada vez más amplia entre la observación de hechos y el razonamiento deductivo teórico que amenaza comprometer la integridad de la economía como una ciencia empírica”.

la información material que la acompaña también se publica a nivel de la industria, el IP no avanzó por este desarrollo. Tercera: la gran mayoría de teorías de IP comienzan con la noción (poskeynesiana) de que el producto y el empleo constriñen fundamentalmente la demanda, mientras que las principales teorías toman el punto de vista opuesto, en cuanto estas variables las determinan fundamentalmente factores de la oferta. Cuarta y más importante: las principales corrientes económicas fueron, cada vez más, inclinándose hacia explicaciones de crecimiento de largo plazo en las que el cambio tecnológico desempeña un papel más relevante, en particular después del surgimiento de la así denominada teoría del crecimiento interno. Al mismo tiempo, se juzga que el IP atiende a situaciones donde las tecnologías productivas están congeladas. Por ello, muchos de los tópicos actuales en las principales corrientes económicas, como es el caso del cambio en los patrones comerciales, cambios en la composición de destrezas de la fuerza de trabajo y cambios en las consecuencias ambientales de la producción, difícilmente pueden ser abordadas por métodos de IP, excepción hecha de las técnicas *ex post*.

Ciertamente, de alguna forma, se han sobrestimado las causas y consecuencias arriba mencionadas. Por ejemplo, se han hecho algunos intentos por proporcionarle bases microeconómicas al análisis de IP [véase por ejemplo Ten Raa y Mohnen, 1994 y Rose y Casler, 1996] y se avanza cierto trabajo para remplazar el modelo cuantitativo de IP de oferta, poco exitoso [propuesto por Ghosh, 1958], por un método más consistente para analizar los efectos de las restricciones de la oferta, por ejemplo, las que afectan la producción agrícola [véase al respecto Papadas y Dahl, 1992].² No obstante estos avances con dirección a las corrientes económicas dominantes, es claro que al estudio económico de IP le costará mayores esfuerzos reconquistar el respeto de dichas corrientes económicas.³ Lo más im-

portante es que tiene que hacer un seguimiento muy cercano de los avances en las corrientes económicas dominantes, con el fin de reducir, en cualquier oportunidad, la brecha a la que se refiere Leontief. Esta aportación habrá que verla como un primer resultado de las exploraciones de lo que creo es una de esas oportunidades.

En este trabajo me propongo señalar que el análisis de IP puede enriquecer la teoría de crecimiento endógeno en las corrientes económicas dominantes. Desde que apareció publicado el artículo de Paul Romer [1986] en el *Journal of Political Economy*, el crecimiento de largo plazo y sus posibles determinantes se ha constituido en un tópico sobresaliente para dichas corrientes económicas. Sus ideas han sido cuestionadas y refinadas en numerosas aportaciones en la literatura relativa a este tema. En la mayor parte de estos modelos denominados de crecimiento endógeno la investigación y desarrollo (ID) y sus externalidades positivas concomitantes son la fuerza detrás de la productividad a largo plazo y el crecimiento del producto.⁴ Las externalidades implican que los gobiernos podrían promover el bienestar a largo plazo para todos sus ciudadanos al seguir activamente políticas tecnológicas en lugar del *Laissez-faire*.⁵ Este resultado atrajo naturalmente la atención de quienes diseñan políticas. No obstante su impacto, la utilidad práctica de la teoría del crecimiento endógeno ha sido muy limitada hasta ahora, ya que mantiene el supuesto neoclásico en economía de los agentes perfectamente idénticos y representativos. Algunas aportaciones distinguen entre productores de bienes de capital, intermediarios y consumidores de bienes; no obstante, hasta ahora no se han introducido diferencias prácticas relevantes entre, por ejemplo, construcción, computadoras y equipo de transporte.

² Oosterhaven [1998] mostró de manera convincente las inconsistencias del modelo propuesto por Ghosh. Dietzenbacher [1977] mostró recientemente que dicho modelo no es cuantitativo, sino de precios.

³ Debe preguntarse si vale la pena conseguir la aceptación de parte de las corrientes económicas dominantes, si ello requiere que los investigadores de IP cambien sus actitudes con respecto a la naturaleza del fenómeno económico. Supongo que a buena parte de los investigadores en IP les gustaría ser aceptados de manera más amplia, siempre y cuando los aspectos “centrales” de su método no sufran cambios; lo que sin duda plantea la pregunta de cuáles son los aspectos centrales del análisis IP y cuáles no.

⁴ Los conceptos “teoría de crecimiento endógeno”, “nueva teoría del crecimiento”, “ID como fuerza detrás del crecimiento” y “teoría schumpeteriana del crecimiento” generalmente se utilizan de manera indistinta en la literatura dedicada al tema. Cada opción tiene sus dificultades. Entonces, para mayor conveniencia trataré, en lo posible, de ceñirme al concepto de “teoría de crecimiento endógeno”.

⁵ Nótese que esta conclusión podría inducir un pequeño cambio de las políticas liberales de libre mercado hacia una forma muy sutil de “planificación”, que sería un movimiento contrario al mencionado como una de las causas que menguaron el interés en el IP.

El análisis de IP se enfoca explícitamente a la diferencia entre bienes en sí mismos, así como en la diferencia respecto a los insumos que requiere su producción. Sin embargo, en esta corriente de la economía temas como crecimiento económico a largo plazo y cambio estructural han sido motivo de muy poco estudio en un marco dinámico. Después de la construcción y aplicación del modelo bien conocido “Leontief-Duchin-Szyld” [Duchin y Szyld, 1985 y Leontief y Duchin, 1986] a mediados de los años ochenta, el centro de atención de la mayor parte de los estudios empíricos de IP parece centrarse en la anticipación de desarrollos de corto plazo así como un recuento *ex post* del crecimiento en un marco estadístico comparativo (por ejemplo, análisis estructural de descomposición).

Como un primer paso para la construcción de un puente que podría resultar fructífero entre la teoría del crecimiento endógeno y el análisis de IP, introduzco un modelo dinámico de IP muy simple, donde incluyo algunas de las propiedades más importantes del estado del arte de las teorías del crecimiento endógeno: innovación, difusión del conocimiento, rendimiento constante a escala a nivel macro y determinación de la producción por la oferta. Desde la perspectiva del IP, esta última característica es una desviación de la práctica común. En intercambio, el modelo carece de una base microeconómica explícita y supone funciones de producción con coeficientes fijos en el corto plazo (no hay sustitución instantánea debido a cambios en los precios relativos), lo que es contrario a la mayor parte de los modelos de crecimiento endógeno.

El trabajo está organizado de la siguiente forma: la sección 2 está dedicada a una breve revisión de las partes que componen la teoría del crecimiento endógeno que son relevantes para el modelo. En la sección 3 presentaré y discutiré las ecuaciones que componen el modelo. El comportamiento a largo plazo del modelo analítico complejo se presenta en la sección 4 a partir de una serie de simulaciones por computadora para el caso de una economía hipotética. En la presentación haré hincapié en la identificación de “niveles óptimos de inversión en ID” (por industria específica), ya que es el aspecto de la teoría del crecimiento endógeno que resulta de mayor relevancia para quienes diseñan políticas. Finalmente, en la sección

5 presento algunos ejemplos de la capacidad que tienen los futuros modelos de crecimiento endógeno para integrar aspectos como tecnología, inversión, intercambio comercial y educación.

Una breve panorámica de la teoría del crecimiento endógeno

En esta sección me propongo mostrar algunos resultados centrales producto de la teoría del crecimiento. No intentaré ser exhaustivo, ya que se han publicado algunos estudios que sí lo son [véase por ejemplo Verspagen, 1992; Aghion y Howitt, 1998 y Los, 1999]. En particular, no me detengo en discusiones detalladas sobre aspectos microeconómicos, ya que no desempeñan un papel sustancial en lo que resta de este trabajo. Por el contrario, me centraré en dos aspectos característicos de los modelos de crecimiento endógeno que son importantes desde la perspectiva del nivel industrial: la difusión de avances tecnológicos (*technological spillovers*) y los efectos de escala.

Antes que nada quiero dejar claro qué me gustaría cubrir en esta presentación de teorías de crecimiento. Para el presente propósito una teoría o modelo debe cumplir con dos criterios: debe ser “shumpeteriano” y debe suponer que las empresas optimizan sus utilidades racionalmente. El primer criterio implica que el producto y la productividad deben “...generarse por medio de la introducción de nuevos bienes o procesos, en oposición a acumulación física o capital humano” [Dinopoulos y Thompson, 1999: 159]. En consecuencia deja fuera al modelo tradicional neoclásico donde el crecimiento de la productividad a largo plazo equivale a la tasa exógena de crecimiento tecnológico, así como las teorías de crecimiento poskeynesianas en que la tasa de crecimiento de las exportaciones determina la tasa de crecimiento del producto.⁶ En consecuencia me evita dis-

⁶ En un trabajo reciente, Kurz y Salvadori [2000] argumentan por qué los modelos dinámicos de insumo producto estándar deberían formar parte de una clase más amplia de modelos de crecimiento endógeno. Es claro que este modelo no pertenece a los modelos shumpeterianos, ya que el crecimiento del producto se causa simplemente por acumulación de capital.

cutir los modelos donde las tasas de crecimiento de largo plazo se hacen endógenas al hacerlas depender de la inversión en capital humano (educación). El segundo criterio implica que no me ocupó de las aportaciones de la así denominada teoría evolucionaria del crecimiento. Los autores en dicha tradición ven de utilidad investigar las innovaciones (ID) como la fuerza que se encuentra detrás del crecimiento, aunque argumentan que la incertidumbre intrínseca con respecto a las utilidades provenientes de la ID evita que las empresas maximicen sus utilidades. En su lugar, están modeladas para seguir rutinas que pueden adoptarse a lo largo del tiempo. No incluyo las teorías evolutivas en este breve repaso simplemente porque no pertenecen a las corrientes dominantes a que hice mención en la introducción. No obstante, hay que tener en mente que la forma reducida del modelo que presento en la siguiente sección puede hacerse de acuerdo con los modelos que suponen la optimización racional y con aquellos que suponen un comportamiento basado en rutinas.

Difusión de los avances tecnológicos

La ventaja fundamental de los modelos de crecimiento endógeno con respecto a las teorías tradicionales neoclásicas del crecimiento exógeno es que proporcionan explicaciones con respecto al incremento de los niveles de productividad a lo largo del tiempo y por qué muchas empresas dedican parte sustancial de sus recursos a la búsqueda de innovaciones. La noción de que la tecnología es causa de externalidades positivas —difusión (*spillovers*)— ha sido crucial para la construcción de todas las teorías shumpeterianas del crecimiento endógeno.

Si en el trabajo inicial que dio origen a la primera ola de teorías de crecimiento endógeno [Romer, 1986], las variables de ID entraron en la función de producción de las empresas como dos insumos adicionales, junto con la fuerza de trabajo y capital. La productividad de insumos antagonísticos como lo son trabajo y capital podrían incrementarse por la ID pagadas por la propia empresa. Segundo, el bien público característico de la generación de conocimiento que se desprende de la ID permite que las empresas se beneficien del conocimiento que se produce en cualquier otra parte. En la literatura empírica dedicada al tema, a esta variable se

le denomina “la fuente de difusión potencial” [*the potential spillover pool*, Jaffe, 1986: 986]. Un problema fundamental vinculado a este tipo de modelo es su inconsistencia interna con respecto a los incentivos para invertir en ID. Dado que parte del supuesto de que la tecnología es completamente pública de manera inmediata, ninguna empresa se involucrará en ID, pues no habrá oportunidades de obtener utilidades a partir de sus resultados.

En modelos de crecimiento posteriores, el supuesto fundamental de competencia perfecta se relaja [véase por ejemplo Grossman y Helpman, 1990, 1991; Romer, 1990 y Aghion y Howitt, 1992]. Al integrar algunas ideas provenientes del campo de la organización industrial al marco del crecimiento endógeno, estos modelos suponen que la tecnología *no* se convierte inmediata ni completamente en un bien público y que los mercados donde las empresas venden sus productos se caracterizan por una competencia monopólica. Dada esta estructura del mercado, las empresas gozan de cierta libertad para establecer sus precios debido al hecho de que tienen cierto poder monopólico en el segmento de mercado donde venden su “variedad” de producto. Al establecer apropiadamente sus precios, en principio las empresas podrán obtener ganancias suficientes para compensar el gasto que realicen en ID. En esta segunda ola de teorías del crecimiento hay por lo menos dos sectores que se distinguen:⁷ es típico que el sector de ID produzca dos bienes, diseños (“anteproyectos”) para nuevos productos y conocimiento general. Los anteproyectos pueden utilizarse tanto en el sector de bienes intermedios o en el sector de bienes de consumo, dependiendo del modelo particular. En la medida en que los anteproyectos proporcionan “recetas” para nuevos productos, pueden asegurarse utilidades positivas por lo

⁷ En muchas de las aportaciones a la literatura dedicada al IP, las palabras “sector” e “industria” son más o menos sinónimas. Por ello, en este trabajo vale la pena aclarar la diferencia entre la noción de “sector” e “industria”. Utilizo “sector” para la parte de la economía que produce bienes que sirven a un objetivo común en toda la economía como anteproyectos y conocimiento (el sector de ID) o bienes de consumo (el sector de bienes de consumo). El término “industria” hace referencia a aquella parte de la economía que posee ciertas características intrínsecas similares (o diseños para dichos productos), como productos químicos o servicios empresariales. Dadas estas “definiciones”, elementos de varios sectores pueden muy bien estar presentes dentro de una industria y viceversa.

menos por un periodo reducido, por medio de una patente o explotando la ventaja que da el tiempo. Entonces anteproyectos específicos son la fuerza detrás de la participación en proyectos de ID, que producen conocimiento general como un producto derivado muy importante. Opuesto a los anteproyectos, el producto derivado se supone es un bien público: todo el sector de la investigación también puede hacer uso de él. Los efectos de esta difusión de conocimiento sobre la productividad de la investigación han sido modelados de diversas formas. Casi todos los modelos de crecimiento recientes han sido desarrollados en torno a una o dos clases amplias de mecanismos de difusión: “incremento de la variedad” y “escalas de calidad”.

En Grossman y Helpman [1990] y Romer [1990] el producto del sector de investigación (medido en términos de anteproyectos) depende de sus insumos en términos de trabajo y la disponibilidad de conocimiento general difundido. Los anteproyectos para nuevos bienes intermedios no constituyen incrementos de calidad. Por el contrario lo que se supone es que el incremento en la variedad de insumos intermedios mejora la productividad en el sector de los bienes de consumo, ya que pueden utilizarse insumos más especializados. La difusión positiva de conocimiento en los modelos de “incremento de la variedad” es causa de la reducción en el equilibrio del gasto en ID deseable desde un punto de vista social: las empresas basan sus decisiones relativas a ID sobre el rendimiento privado, producto de la investigación, que es menor a los rendimientos sociales.

Aghion y Howitt [1992] suponen que cada nuevo anteproyecto para cada serie de bienes intermedios reduce los costos de producción del único bien de consumo. La difusión de conocimiento se objetiva en el anteproyecto previo, posiblemente inventado por otra empresa: si ocurre una innovación se supone que todo el sector de investigación obtiene el conocimiento subyacente. En consecuencia, todas las demás empresas pueden hacer uso de sus propios insumos, en términos de ID, para diseñar otras innovaciones que reducen todavía más los costos de producción. Grossman y Helpman [1991] explotan una idea similar, no obstante, dejan de hacer una diferenciación del sector que produce bienes de consumo intermedio. En su modelo, cada

innovación implica un paso adelante en la “escala de calidad”, en uno de varios bienes de consumo no totalmente sustituibles. Cualquier proyecto de ID se supone que hace uso del conocimiento general asociado con el bien de consumo, que tenga, hasta ese momento, la mayor calidad. La extensión entre dos periodos de sucesivas innovaciones (durante el cual puede obtenerse la ganancia producto de la innovación) es una variable estocástica en ambos modelos, ya que se supone que la innovación llega por medio de un proceso tipo *Poisson*. La media del número de innovaciones en un periodo se supone que está determinada por la cantidad de trabajo (o capital humano) que se emplea en el proceso de ID. No obstante que los modelos de “escala de calidad” también contienen difusión positiva de conocimiento, no llegan a las mismas conclusiones a que llegan los modelos de “incremento de variedad”, debido a la existencia de una fuerza contraria. Si una empresa piensa invertir en un proyecto de ID, calculará si la expectativa de utilidades superará los costos, sin tomar en consideración que de inmediato cesa el flujo de utilidades del mejor anteproyecto con el que cuenta. Entonces, los proyectos de ID también son causa de externalidades negativas, y depende de la magnitud relativa de este efecto de “creación destrucción” y del efecto positivo de la difusión de conocimiento si el rendimiento social es menor o mayor al rendimiento privado.

De esta discusión en la segunda ola de nuevas teorías de crecimiento schumpeterianas, surgen tres aspectos importantes desde la perspectiva de los modelos IP de crecimiento y que presentaremos en la siguiente sección. Primero, la difusión de conocimientos puede modelarse de dos formas. En la primera especificación, todos los procesos de ID se hacen más productivos si se incrementan las existencias de conocimiento general (que es un producto derivado de la búsqueda de innovaciones lucrativas). De forma alterna, el conocimiento contenido en un proceso de producción más barato o un producto de consumo cualitativamente superior queda disponible inmediatamente para otras empresas, que comienzan su búsqueda constante de innovación al nuevo nivel tecnológico establecido. Segundo, los innovadores pueden obtener ganancias supernormales por un tiempo limitado gracias a la protección legal (patentes) o a la capacidad de generar liderazgo con el tiempo que tienen



a su favor. Tercero: es más o menos aceptado modelar la ocurrencia de innovaciones como un proceso *Poisson*, cuyo parámetro lo determinan los esfuerzos de ID.

Efectos de escala

Desde la introducción de los modelos de crecimiento endógeno, el tema de los efectos de escala ha llamado mucho la atención. Debido a las externalidades positivas de la ID arriba mencionadas, los rendimientos de escala ya no son constantes (como lo eran en el modelo de Solow, [1956]) sino que se incrementan. Esta es, exactamente, la razón por la cual el crecimiento del producto puede mantenerse en los modelos de crecimiento endógeno, incluso si la población no crece. La evidencia que presenta Jones [1995a, 1995b] contra las implicaciones de los efectos de escala ha provocado una nueva ola de teorías schumpeterianas de crecimiento, cuyas propiedades tienen consecuencias importantes para mi modelo IP de crecimiento.

Para clarificar la discusión, retomo bastante del artículo escrito de Dinopoulos y Thompson [1999], quienes presentan un modelo bi-sectorial simple que puede concebirse como una forma reducida de modelos discutidos con anterioridad. Se supone que la fuerza de trabajo es el único factor antagonico en la producción:⁸

$$X[t] = \Lambda[t]L^P[t] \quad [1]$$

$$\frac{\dot{\Lambda}[t]}{\Lambda[t]} = \gamma L^R[t] \quad [2]$$

La primera ecuación establece que el producto X del sector productor de bienes depende de la productividad de la fuerza de trabajo en la producción de Λ y la cantidad de fuerza de trabajo dedicada a este sector L^P . La ecuación (2) implica que el cambio proporcional en la productividad de la fuerza de trabajo es una función lineal de la cantidad de fuerza de trabajo ubicada en ID, L^R . El parámetro γ es un indicador de la productividad de la fuerza de trabajo en el sector de

⁸ Nótese que el uso de símbolos al que recorro es distinto al de Dinopoulos y Thompson [1999]. El significado de los símbolos que introduzco trata de corresponderse con los símbolos utilizados en el modelo industrial.

ID. Debe hacerse notar que la especificación de la ecuación (2) implica que el producto de la investigación $\dot{\Lambda}[t]$ de cierta fuerza de trabajo en la investigación dada se incrementa con el nivel de productividad $\Lambda[t]$ ya atendida. Las implicaciones pueden ilustrarse interpretando el nivel actual de productividad como el resultado de 100 “ideas” con idéntico nivel de importancia (para una exposición similar véase Jones [1998]). Inicialmente, la fuerza de trabajo en investigación puede mantener 3% anual de incremento constante de productividad si produce tres ideas nuevas al año. No obstante, después de cien años de incremento de productividad de 3%, el acervo de ideas sólo ha crecido a tal punto ¡que se requieren cerca de 58 nuevas ideas anuales para mantener un crecimiento de productividad anual con tasa de 3%! El supuesto de una productividad constante en ID, en términos de tasas de crecimiento proporcional, como se refleja en la ecuación (2), da lugar a una propiedad muy importante del modelo, aunque discutible, como pronto se verá.

La condición de pleno empleo que supone la nueva literatura en el tema de crecimiento se cubre de manera automática, lo que asegura que la oferta de fuerza de trabajo L equivale a la suma de L^P y L^R . Al combinar las ecuaciones (1) y (2), la tasa de crecimiento del producto per cápita x (para una relación dada de insumo de fuerza de trabajo en ID con respecto al total de insumos de fuerza de trabajo) puede verse que evoluciona en el largo plazo de acuerdo con:

$$\frac{\dot{x}[t]}{x[t]} = \frac{\dot{\Lambda}[t]}{\Lambda[t]} = \gamma \left(\frac{L^R[t]}{L[t]} \right) L[t] \quad [3]$$

De las ecuaciones (2) y (3) pueden extraerse por lo menos tres hipótesis importantes con relación a los efectos de escala en el modelo simple. Primera, el producto de una economía crecerá dos veces más rápido que el producto de otra economía con una productividad en ID idéntica (en términos de tasas de crecimiento proporcionales) y una fracción igual de fuerza de trabajo empleada en el sector de ID, si su fuerza de trabajo es dos veces mayor. Segunda, si una economía tiene una población constante y su productividad en actividades de ID permanece estable el

estado estable de la tasa de crecimiento de su productividad permanecerá igual sólo si la fracción de la fuerza de trabajo ubicada en ID permanece estable. Tercera, si la productividad de ID permanece estable y la proporción de fuerza de trabajo ubicada en ID permanece igual, el crecimiento de la población acelera el crecimiento de la productividad.

La primera hipótesis puede probarse si se cruza información entre países. El estudio más citado que expone resultados de una prueba vinculada a este aspecto es Backus *et al.* [1992], donde no encuentra relación entre el crecimiento del PIB per cápita y el logaritmo del PIB inicial para las economías agregadas, aunque sí un vínculo positivo significativo si se consideran las tasas de crecimiento del producto manufacturado y si se consideran los niveles iniciales.⁹ La segunda y tercera hipótesis son de naturaleza temporal. Jones [1995a] presenta evidencia de que no es posible atender la segunda hipótesis, por lo menos para probar datos del periodo 1950-1990, en cuatro países industrializados importantes cuyo crecimiento de productividad no cambió significativamente, no obstante que el número de científicos e ingenieros desempeñándose en los departamentos de ID se incrementó considerablemente. De hecho esta es una evidencia en contra de la tercera hipótesis (pues también la población creció); sin embargo, investigaciones en series de tiempo extremadamente largas hechas por Kremer [1993] rindieron resultados positivos para estas hipótesis. Pero, sobre todo, la evidencia empírica con respecto a los efectos de escala no es clara, especialmente debido a los problemas que surgen para poder hacer mediciones. En efecto, no es posible desenmarañar los efectos de corto y largo plazos o no pueden tomarse en cuenta los efectos internacionales de la creación tecnológica. Sin embargo, muchos autores se sienten incómodos con respecto a los resultados de los efectos de escala de los modelos similares al de las ecuaciones (1) y (2), por lo que han construido modelos schumpeterianos de crecimiento

⁹ Hay que hacer notar, no obstante, que Backus *et al.* [1992] sólo ofrece evidencia circunstancial con respecto a la primera hipótesis, ya que las condiciones *ceteris paribus* (p. ej. razones iguales de fuerza de trabajo en ID con respecto a la fuerza de trabajo total) ciertamente no las cumple su muestra de 67 países. Más aún, el PIB no es una medida de escala ideal para probar el modelo simple, porque las diferencias del cruce de PIB entre países también pueden ser causadas por las diferentes relaciones entre capital-trabajo.

alternos donde los efectos de escala están ausentes o cumplen un papel menos prominente. Uno de ellos proporcionará las bases para la ecuación más importante en el modelo de crecimiento ID que se desarrollará en la siguiente sección.

De hecho, las teorías que tratan de eliminar los efectos de escala pueden representarse con una forma modificada de la ecuación (3):

$$\frac{\dot{x}[t]}{x[t]} = \frac{\dot{\Lambda}[t]}{\Lambda[t]} = \frac{\gamma_0}{\gamma[t]} \left(\frac{L^R[t]}{L[t]} \right) L[t] \quad [4]$$

Ahora, la productividad de la fuerza de trabajo que se desempeña en ID (en términos de tasas de crecimiento de productividad proporcionales) ya no se supone como constante, esto es, γ en las ecuaciones (2) y (3) queda remplazada por $\gamma_0/\gamma[t]$. La ecuación muestra que la ausencia de efectos de escala en la dimensión de series de tiempo queda asegurada si y sólo si $\gamma[t]$ crece a una tasa exactamente igual a la tasa de crecimiento de largo plazo de la oferta de fuerza de trabajo $L[t]$, si se supone que la fracción del total de la fuerza de trabajo dedicada a actividades de ID permanece constante. Como Jones [1999] hace hincapié, la ecuación (4) ofrece la oportunidad de clasificar modelos de crecimiento impulsados por ID en tres grupos. Primero, si $\gamma[t]$ es constante o tiene un crecimiento más lento que $L[t]$ (como en el modelo que se presentó anteriormente), el modelo es uno de “crecimiento endógeno con efectos de escala”. Segundo, si $\gamma[t]$ crece con mayor rapidez que $L[t]$, este modelo puede denominarse uno de “crecimiento semiendógeno”. Finalmente, si $\gamma[t]$ crece a la misma velocidad que $L[t]$, al modelo puede llamársele uno de “crecimiento endógeno sin efectos de escala”. En el párrafo final de esta sección plantearé las propiedades más importantes de los “modelos de crecimiento semiendógenos” y “modelos de crecimiento endógeno sin efectos de escala”, e intentaré señalar por qué estos grupos son sujeto de debate.¹⁰

¹⁰ Dinopoulos y Thompson [1999], por ejemplo, prefieren denotar modelos que pertenecen al segundo grupo como “modelos de crecimiento exógeno”. Por otra parte, Jones [1999] argumenta que la frase “sin efectos de escala” es errónea en relación con el tercer grupo de modelos.

El primer modelo semiendógeno lo formuló Jones [1995b], seguido por Kortum [1997] y Segerstrom [1998]. El modelo de Jones se basa en la convicción de que sería imposible alcanzar una tasa de crecimiento de productividad constante y proporcional con un número dado de trabajadores desempeñándose en ID, ya que no pueden desarrollar un número cada vez mayor de ideas (véase la discusión que propongo para la ecuación 2). Esto implica que habría que destinar más recursos a actividades de ID con el fin de mantener una tasa constante de crecimiento de productividad. El modelo de Jones [1995b] y otros modelos de crecimiento semiendógeno equivalentes se reducen a la siguiente ecuación de crecimiento de productividad:

$$\frac{\dot{x}[t]}{x[t]} = \frac{\dot{\Lambda}[t]}{\Lambda[t]} = \frac{\gamma_0}{\Lambda[t]^{(1-\phi)}} \left(\frac{L^R[t]}{L[t]} \right) L[t] \quad [5]$$

Aquí, $1-\phi$ es una medida que permite establecer la velocidad a la que ID se hace menos productiva en el proceso de acumulación de conocimiento (nótese que la tasa de crecimiento de la productividad de la fuerza de trabajo $\dot{\Lambda}[t]/\Lambda[t]$ se ve afectada negativamente por un nivel elevado en la productividad de la fuerza de trabajo $\Lambda[t]$). En el largo plazo, la productividad crece de acuerdo con:

$$\frac{\dot{\Lambda}}{\Lambda} = \frac{v}{1-\phi} \quad [6]$$

Donde v señala la tasa de crecimiento de la población. La *tasa de crecimiento* de productividad en el largo plazo es en consecuencia proporcional a la tasa de crecimiento de la población y completamente independiente de la fracción de la fuerza de trabajo dedicada a la ID.¹¹ Este tipo de modelos basados en ID es similar a los modelos neoclásicos, tradicionales, de crecimiento en el sentido de que

¹¹ Nótese que los modelos de crecimiento endógeno con efectos de escala suponen $\phi = 1$. Esto implica que dichos modelos no tienen una tasa de crecimiento constante de largo plazo si hay crecimiento de la población: más y más personas pueden ubicarse en actividades de ID sin que haya reducción de rendimientos.

la elevación de la productividad en el largo plazo es un fenómeno determinado exógenamente. Contrario a los modelos de crecimiento exógeno, sin embargo, los *niveles* de productividad y producto que corresponden con la vía de crecimiento están positivamente relacionados con la fracción de fuerza de trabajo dedicada a la ID, y su equilibrio está determinado endógenamente. Estas dos propiedades llevan a muchos economistas a etiquetar estos modelos como “de crecimiento semiendógeno”.

Las teorías de crecimiento endógeno sin efectos de escala (por ejemplo, Peretto y Smulder [1998]; Young [1998] y Howitt [1999]) tienen mecanismos que podrían poner a salvo las conclusiones de las tasas de desarrollo de largo plazo dependientes de ID, evitando los problemas del efecto de escala. La idea principal es que la ID es menos productiva en un sentido agregado, ya que se supone que genera conocimiento variado-específico e incremento de calidad junto con un número cada vez mayor de variedades. Entonces, en comparación con modelos que incrementan la variedad en la “segunda ola” de teorías de crecimiento endógeno (por ejemplo, Romer [1990]), hay cada vez menos difusión de conocimientos útiles entre las empresas que producen distintas variedades. Por ello, cada trabajador produce menos y menos conocimiento relevante (desde una perspectiva social) conforme la economía crece, no obstante que su productividad con respecto a “su” propia variedad no cambie. Utilizando supuestos de maximización de utilidades estándar con competencia monopólica puede mostrarse que en el largo plazo las empresas ubican sus trabajadores dedicados a la ID de forma tal que la cantidad de variedades se incrementa a la misma velocidad que la población.¹² Dinopoulos y Thompson [1999: 174] muestran que (por lo menos) “los modelos de crecimiento endógeno sin efectos de escala” se reducen a la siguiente ecuación de incremento de productividad:

$$\frac{\dot{\Lambda}}{\Lambda} = \kappa \gamma_0 \frac{L^R[t]}{L[t]} \quad [7]$$

¹² Esto se debe a que el rendimiento que trae consigo el desarrollo de una nueva variedad depende de la extensión del mercado, que en parte está determinada por el tamaño de la población.

Donde κ es la relación constante entre el tamaño de la población y el número de variedades. Entonces, el incremento de la productividad de la fuerza de trabajo puede anotarse como una función lineal de la proporción de la fuerza de trabajo dedicada a ID: la productividad agregada sigue creciendo con un paso estable cuando una fracción constante de una población en crecimiento se dedica a la ID. En consecuencia, las políticas gubernamentales cuyo objetivo es incrementar esta fracción serán exitosas al promover crecimiento de largo plazo, contrario a las predicciones de los modelos “semiendógenos”. Entonces, los efectos de escala no son válidos para las tasas de crecimiento, sólo se reflejan en el resultado si las economías de mayor tamaño producen más variedad que los países pequeños (mientras sean países tecnológicamente independientes).

Desde esta panorámica, necesariamente superficial, del tema de los efectos de escala en la teoría de crecimiento endógeno, la principal conclusión debería ser que los resultados de estos modelos son extremadamente sensibles a la especificación de la ecuación que enlaza el producto y crecimiento de productividad a una o más variables de ID. Por supuesto, esto también es válido para modelos de crecimiento de IP. Desde mi punto de vista, los recientes “modelos de crecimiento endógeno sin efectos de escala” cumplen con un excelente papel, en el sentido de que consideran explícitamente los efectos que inhiben el crecimiento de la complejidad causada por el incremento de los esfuerzos en ID. A estas alturas debería ser claro que una parte importante de los resultados son centrales para que optara por una especificación que hace que el modelo forme parte de la clase de “modelos de crecimiento endógeno sin efectos de escala”. En la siguiente sección, donde presento la discusión de la ecuación modelo, dejaré en claro cómo es que incorporé la difusión tecnológica, de la que se habló líneas arriba, y los efectos de escala en un contexto interindustrial.

El modelo

El modelo de crecimiento de IP que propongo es un ejemplo muy simple de un modelo “secuencial” o “dinámico con dos etapas” [Dervis *et al.*, 1982]. Al inicio de cada periodo, las industrias tienen que tomar decisiones respecto a una

serie de temas, dado un conjunto de variables que suponen van más allá de su rango de influencia en ese momento. Por ejemplo, las industrias deciden sobre los insumos en ID de su periodo actual, con base en sus niveles previos de ventas, precios relativos previos y las funciones de producción prevalecientes en su sector de ID. El conjunto completo de estas ecuaciones de corto plazo proporcionan el producto actual, ID, empleo y niveles de consumo. De hecho, determinar el producto sólo implica la solución de una especie de modelo de IP estático en cada periodo. La dinámica se introduce en la segunda etapa, donde se modelan las consecuencias de las decisiones tomadas sobre los valores considerados como exógenos al comienzo del siguiente periodo(s). Por ejemplo, las decisiones actuales respecto al gasto en ID le darán forma a las futuras funciones de producción. En consecuencia, valores nuevos de las variables que son exógenas al proceso de decisiones de corto plazo pueden alimentar el sistema, mientras que pueden estudiarse los efectos de largo plazo que tiene el cambio de parámetros.¹³

Siguiendo los modelos de crecimiento basados en ID que revisé en la sección anterior, el modelo opera con una economía cerrada. En esta economía se especifican n industrias, cada una produciendo un bien único y homogéneo. Cada industria posee dos sectores, al igual que en los modelos de crecimiento endógeno. En el sector productivo, la relación entre producto e insumos (fuerza de trabajo y n insumos intermedios) está dada por una función Leontief para la producción de una industria específica, cuyos parámetros indican los requerimientos por unidad de producto bruto.¹⁴ Asimismo, en el sector de ID, los

¹³ Nótese que este tipo de modelo no es dinámico, en el sentido de que se supone que las industrias resuelven un cierto tipo de proceso de optimización de la dinámica, como es el caso en algunos modelos recientes walrasianos, computables de equilibrio general. En lugar de ello, las dinámicas son de un tipo similar a las del modelo IP “Leontief-Duchin-Szyld” [Duchin y Szyld, 1985; Leontief y Duchin, 1986], donde las decisiones actuales sobre inversión en bienes de capital determinan los niveles de capacidad en periodos futuros.

¹⁴ En un modelo cuyo objetivo es proporcionar una herramienta para la evaluación de políticas, los insumos de bienes de capital no deberían excluirse. No obstante, la inclusión de dichos bienes producirán procesos de ajuste de corto plazo, lo que podría complicar el modelo hasta un nivel no confiable. Regresaré a este tema en el último apartado.

insumos se utilizan en proporciones específicas de industrias fijas. El producto de este sector consiste de anteproyectos para nuevos procesos productivos. Estos anteproyectos quedan representados por la función Leontief para la producción de una industria específica con coeficientes bajos de insumo con respecto al que se encuentra en uso. Entonces, la ubicación de insumos en los procesos de ID incrementa los niveles futuros de producto a costa de disminuir la capacidad actual para producir bienes para el consumo.

A continuación introduzco las ecuaciones que constituyen el modelo. Para abreviar, están escritas en forma de matriz cuando así resulta conveniente. Las mayúsculas en negritas hacen referencia a matrices, los símbolos con minúsculas y en negritas representan vectores en columnas, mientras que los símbolos en *italicas* hacen referencia a magnitudes. Las matrices diagonales se denotan con un gorro y los números primos matrices traspuestas o vectores. Además, los superíndices P y R indican insumos para la producción e ID , respectivamente. Un subíndice c indica un coeficiente matriz o vector, mientras que un subíndice s denota una matriz o vector con cantidades de *stock* o flujo. Las virgulillas se utilizan para indicar variables en términos de dinero, y las barras denotan sumas (ponderadas) o promedios (ponderados).

Progreso tecnológico impulsado por ID

Dado que una de las principales diferencias entre los recientes modelos de crecimiento dinámicos de insumo producto [Duchin y Szyld, 1985; Leontief y Duchin, 1986; Kalmbach y Kurz, 1990, y Edler y Ribakova, 1993] y el modelo que aquí proponemos es la naturaleza endógena explícita del avance tecnológico, iniciaré la exposición de las ecuaciones con aquellas que describen el vínculo entre ID y el incremento de la productividad. La especificación de esta ecuación se inspira en los modelos agregados ubicados en la categoría de “crecimiento endógeno sin efectos de escala”. A lo largo de este trabajo denominaré al vector de cantidades de fuerza de trabajo ($n \times 1$) (que se requiere con el fin de producir) por unidad de producto bruto efectiva en el periodo iniciado a t y finalizado a $t + 1$ por $I_c^P[t + 1]$. En el supuesto de que sus elementos cambian de acuerdo con la ecuación que expresa la diferencia.

$$I_{c,j}^P[t + 1] = \left(\frac{1}{1 + \sigma \cdot Inn_j[t]} \right) I_{c,j}^P[t] \quad [8]$$

Donde Inn denota la cantidad de innovación de procesos ocurridos por industria específica a t y σ señalando el incremento proporcional fijo en la productividad de la fuerza de trabajo que implica cada innovación (su “tamaño”).¹⁵ Siguiendo a Aghion y Howitt [1992], las innovaciones se presentan con intervalos estocásticos:

$$Inn_j[t] \sim \text{Poisson}(\lambda_j[t]) \quad [9]$$

Donde λ_j es una variable de industria específica cuyo valor está dado por:

$$\lambda_j[t + 1] = \gamma_j \left[\frac{I_{s,j}^R[t] + \sum_{k=1}^n z_{s,kj}^R[t]}{x_j[t]} \right]^{\alpha_j} \quad [10]$$

Con

$$\eta_j^*[t] = \sum_{i \neq j} \eta_{ij} \left(\frac{I_{s,i}^R[t] + \sum_{k=1}^n z_{s,ki}^R[t]}{\sqrt{x_i[t]x_j[t]}} \right)^{\alpha_i}$$

Aunque esta ecuación (10) es menos complicada de lo que parece, requiere una serie de comentarios.

Primero, dejando de lado el factor $(1 + \eta_j^*[t])$, la ecuación (10) casi es similar a una versión de multiinsumo de la

¹⁵ La productividad de la fuerza de trabajo (en términos de valor agregado real por unidad de fuerza de trabajo) casi está inversamente relacionada con los requerimientos de fuerza de trabajo por unidad de producto, debido al supuesto de que las innovaciones no afectan los requerimientos de insumos intermedios por unidad de producto. La relación inversa no es exacta, no obstante, debido a los costos de ID que podrían no ser proporcionales al producto total a precios constantes (véase más adelante).



ecuación (7): I_s^R denota la fuerza de trabajo desempleada en ID como insumo, z_s^R indica el insumo de materiales en el proceso de ID y x refleja el total de insumos, agregado a la producción y a los sectores de ID (todos medidos en precios constantes). Entonces, al igual que en la ecuación (7), se supone que la tasa de llegada de mejoramiento, de la productividad de las innovaciones, depende de la fracción de insumos totales dedicados a la ID. En consecuencia, la constante γ_j es el equivalente de industria específica de la constante en la ecuación (7). La principal diferencia entre la ecuación (7) y (10) es el exponente α ($0 < \alpha < 1$). Si este parámetro fuese equivalente a 1 (como lo es para la ecuación 7), esto crearía serios problemas en la especificación de diferencias interindustriales en la tasa de llegada de innovación. La evidencia empírica muestra que la relación de las intensidades de ID en la industria “promedio” con tecnología regular y la industria “promedio” con tecnología de punta es, por lo general, de apenas 1:20, mientras que sus correspondientes tasas de crecimiento de productividad de la fuerza de trabajo, generalmente, anda por el orden de 1:15.¹⁶ Esto podría implicar que γ para industrias con tecnología pobre debería ser casi cuatro veces mayor que el de las industrias con tecnología de punta. El inconveniente obvio de esta solución sería que las industrias con tecnología pobre producirían cuatro veces más innovaciones que la industria con tecnología de punta ¡si gastara la misma fracción de sus insumos en ID! Sin embargo, la especificación de la ecuación (10) refleja la reducción de rendimientos a la intensidad de ID. Una tasa dada de llegada λ puede cubrirse con una intensidad de ID dada por un número infinito de (α, γ) -pares. Para pares con valores γ relativamente bajos, la reducción del rendimiento impide que la industria obtenga mayores ganancias al dedicar mayores insumos a ID.

Segundo, habría que señalar que la especificación de la ecuación (10) supone implícitamente que todas las empresas *dentro* de una industria tienen acceso inmediato al proceso tecnológico relacionado con la innovación y pueden dirigir su ID hacia posteriores mejoras, como en los modelos de

¹⁶ Véase por ejemplo Los [1999, cap. 1] para una comparación empírica entre industrias con tecnología baja, media y de punta en países miembros de la OCDE.

escalas de calidad que se presentaron con anterioridad. Sin embargo, este tipo de difusión no sucede *entre* las industrias.

Tercera, los efectos de productividad de la difusión de conocimiento interindustrial están representados por η_j^* [t]. Esta especificación va de acuerdo con la creciente variedad de modelos, es decir, se supone que una erogación en ID dada es más productiva si se avanza en nuevas ideas a partir de la investigación desarrollada por otras industrias. No obstante, debe mantenerse en mente que el conocimiento generado por otras industrias es muy heterogéneo con respecto a la relevancia que podría tener para la propia ID de una industria dada. Griliches [1979: 104], en su trabajo seminal relativo a las formas de medir la difusión tecnológica, menciona que “la industria de equipo fotográfico y la de instrumentos científicos [...] podrían, en cierto sentido, trabajar en cosas similares y por tanto beneficiarse mutuamente de la investigación que realizan ambas”. No obstante, nadie discutiría que un argumento de ese tipo tendría significado empírico para la industria de equipo fotográfico y, por ejemplo, para la industria de productos de cuero. Para atrapar esas diferencias de relevancia, incluyo el parámetro no negativo η_{ij} .¹⁷

Para evitar efectos económicos sistemáticos de escala sobre las tasas de crecimiento, debido a la difusión interindustrial de conocimientos, expreso los factores de difusión como una relación de insumos de ID con respecto a los insumos totales. Decidí incluir en dicho denominador no sólo el tamaño de la industria “que envía” sino el de la industria “que recibe”, para reflejar la noción de que la difusión del conocimiento nuevo podría limitarse a una fracción mínima de las empresas, en ambas industrias al momento de crecer.

¹⁷ La medición de los parámetros η_{ij} ha dado pie a una amplia literatura, de la que no me ocuparé aquí. En mi opinión, las aportaciones más originales son las de Terleckyj [1974], Griliches [1979], Scherer [1982], Jaffe [1986], Wolff y Nadiri [1993] y Verspagen [1997]. Véase por ejemplo Van Meijl [1995, c. vi] o Los [1999, c. 3] para ver estudios. Estos estudios estiman económicamente especificaciones convenientes en las que se sustituye el conocimiento proveniente de la “propia” ID y el obtenido a partir de la difusión de conocimientos. En la ecuación (19) se les toma como complementos, lo que va más de acuerdo con la teoría de crecimiento endógeno y los resultados empíricos que reportan Cohen y Levinthal [1989].

Como consecuencia de esta especificación, los efectos de difusión para la economía en su totalidad dependen parcialmente de los cambios en las estructuras de la industria en términos de la composición del producto.

Para mayor sencillez, supongo que el progreso tecnológico es simplemente para ahorrar fuerza de trabajo. Ello implica que los requerimientos (en cantidades) de insumos intermedios por unidad de producto bruto (también en cantidades) permanecen constantes a lo largo del tiempo. Por razones empíricas, este supuesto puede remplazarse fácilmente por otro; no obstante, esto va de acuerdo con los bien conocidos hechos macroeconómicos estilizados del crecimiento estable de las relaciones capital-trabajo y relaciones virtualmente constantes de capital-producto.¹⁸

Finalmente, supongo que los requerimientos materiales por unidad de fuerza de trabajo empleada en actividades de ID (señalada por el elemento z_c^R) cambian de acuerdo con los requerimientos de insumos intermedios por unidad de fuerza de trabajo empleada en el sector productivo de la industria. Este supuesto, que refleja el hecho empírico que el proceso de ID es cada vez más intensivo en capital, junto con el supuesto de coeficientes de insumos intermedios constantes en el sector productivo, lleva a:

$$z_{c,ij}^R[t+1] = \left(\frac{I_{c,j}^P[t]}{I_{c,j}^P[t+1]} \right) \cdot z_{c,ij}^R[t] \quad [11]$$

Las ecuaciones (8)-(11) distinguen el modelo de modelos dinámicos de insumo-producto previos, en el sentido de que se modelan de manera específica los cambios tecnológicos como resultado de la búsqueda de innovaciones.

¹⁸ Pueden encontrarse supuestos alternos con respecto a los cambios en los coeficientes de insumo en los modelos que presentan Los [1999], Los y Verspagen [1999] y Verspagen [1999]. Los estudios empíricos de Leontief y Duchin [1986] y Kalmbach y Kurz [1990] explícitamente tratan de anticipar cambios de coeficientes de insumos particulares y de sus efectos sobre la economía. Véase, por ejemplo, Sawyer [1992] para el caso de un estudio que de manera específica busca investigar si los requerimientos de insumos intermedios cambian sistemáticamente a lo largo del tiempo o no.

Sin embargo, estas ecuaciones no señalan la forma en que las industrias deciden ubicar sus recursos, si en el sector productivo o el sector de ID. Este será el tema que abordaremos en la siguiente sección, en la que trato de relacionar las ecuaciones, tanto como sea posible, con los modelos de crecimiento endógeno que se presentaron en un apartado previo.

Inversión en ID

En la literatura dedicada al tema del crecimiento endógeno se supone que las empresas basan la cantidad de su presupuesto para ID en la maximización de la línea que les reditúa ganancias. Dicho de manera llana, a mayores oportunidades de descubrir una innovación que incremente sus ganancias, dado cierto esfuerzo en ID (es decir, más oportunidades tecnológicas favorables), se dedicarán mayores recursos a actividades de ID. En efecto, esta relación tiene sustento empírico; no obstante, es bien reconocido en la teoría más institucional sobre innovación industrial (por ejemplo, Freeman [1983]) que los directores de ID tienen que apoyarse en métodos prácticos relativamente más simples, dada la gran incertidumbre sobre las probabilidades de que las innovaciones resulten exitosas, así como de la magnitud de los posibles ingresos que traiga consigo. En el modelo utilizaré un método práctico muy simple, que dice que cada industria invierte una fracción fija, θ_j , de sus ventas (en precios corrientes) del periodo anterior en actividades de ID:

$$\tilde{\mathbf{i}}^R[t+1] = \hat{\theta} \hat{\mathbf{p}}[t] \mathbf{x}[t] \quad [12]$$

Dado que supongo que las actividades de ID se caracterizan por las funciones Leontief para la producción de industria específica (que cambian con el tiempo, debido a las innovaciones producto de la propia ID, véase la ecuación 11), en este proceso habrá que tomar en cuenta los precios relativos de los insumos para determinar qué tanto de los diferentes insumos son comprados.¹⁹ Dados los precios y

¹⁹ Nótese que el modelo no puede sino implicar supuestos importantes implícitos con respecto al orden con que se toman varias decisiones. En general, supongo que las decisiones para el periodo $t+1$ se basan en los

las funciones Leontief para la producción (representadas por z_c^R) que prevalecieron durante el periodo anterior, la ubicación óptima de fondos para la investigación (\hat{i}^R) pueden especificarse como:²⁰

[13]

Donde el vector diagonalizado en el primer factor del lado derecho puede considerarse como un vector de costos ID por unidad de fuerza de trabajo empleada en procesos de ID :

Con e denotando al vector- $(n \times 1)$ de unos. Ahora, los montos físicos de materiales con propósitos de ID están dados por:

$$Z_s^R[t+1] = Z_c^R[t] \cdot \hat{i}_s^R[t+1] \quad [14]$$

Salarios, precios y ganancias

En la literatura dedicada al insumo-producto generalmente los precios quedan determinados completamente por factores de oferta. En modelos sin bienes de capital se supone que los precios son una función de la tasa salarial nominal (la cual también se supone es igual en todas las industrias) y el conjunto de coeficientes de insumo. Yo

valores de las variables de función de producción prevalecientes a lo largo del último periodo completo, t . Por ello, supongo que las decisiones relativas a los gastos de ID se toman antes de que las industrias y los consumidores decidan sobre precios, niveles de consumo y niveles de producto. Con respecto a las decisiones relativas a las últimas variables, los resultados de las decisiones sobre ID para $t + 1$ se supone que son conocidas y se incorporan. En algunas de las ecuaciones que siguen, estos supuestos causan la inclusión simultánea de diferentes índices de tiempo, que podrían aparecer como inconsistentes a primera vista.

²⁰ En la mayor parte de los modelos CGE, los precios y las cantidades se determinan simultáneamente. En el presente modelo se asume que las industrias son extremadamente cautelosas: se parte del supuesto de que la mayor parte de las cantidades se establecen sólo si se cuenta previamente con los precios, mientras que los precios se establecen de acuerdo con criterios tecnológicos previos. Un modelo con una visión más hacia el futuro, basado en las expectativas, podría considerársele más real; no obstante, introduciría todo tipo de complicaciones, que probablemente no agregarían nada al proceso de crecimiento en un contexto intraindustrial.

también adopto este procedimiento; sin embargo, lo hago con un supuesto adicional respecto a la forma en que se financia la inversión en ID . Como se planteó en el segundo apartado, las teorías modernas de crecimiento endógeno suponen que la innovación permite que las empresas recuperen sus costos de ID al imponer un margen comercial positivo por encima de sus costos de producción. En la ecuación de precios represento este mecanismo microeconómico de una forma llana, simplemente al suponer que las industrias incluyen sus costos de ID en sus costos de producción. Esto implica que los precios del producto son mayores de lo que tendrían que haber sido si no se hubiera incurrido en gastos de costos de ID .²¹ Si se introduce A como matriz de los coeficientes de insumos, los precios de los bienes quedan dados por

$$p'[t+1] = w[t](I_c^p[t] + I_s^R[t+1])\hat{x}^{-1}[t] \quad [15]$$

$$(E - A[t] - Z_s^R[t+1])\hat{x}^{-1}[t]$$

Donde queda implícito lo cauteloso de las industrias respecto a la expectativa del nivel de ventas, en cuanto permanecerán sin cambios (véase la nota 19). Supongo que la tasa nominal de salario es estable y la trato como un numerario. Dado que los precios caen a lo largo del tiempo (debido al decrecimiento de la fuerza de trabajo en la producción por unidad de producto), el incremento real de la tasa salarial se da un paso casi similar a la tasa de crecimiento de la productividad de la fuerza de trabajo agregada. Generalmente una pequeña desviación de esta tasa se debe a la diferencia de requerimientos de fuerza de trabajo en la producción y el sector de ID , y cambios en la composición del consumo, aspecto que abordo enseguida.

²¹ Véase Dietzenbacher y Los [2000] para un recuento empírico del efecto que tienen los precios del gasto en ID .



Consumo y producto

En la mayoría de los modelos IP los niveles de producto se obtienen como producto del inverso del requerimiento de insumos intermedios Leontief por unidad de producto, \mathbf{A} , y el vector de demanda final. Para la economía cerrada considero que la demanda final es la suma de demanda de materiales para ID y la demanda de consumo de parte de los hogares. La demanda de materiales para propósitos de ID ya se examinó en un apartado anterior; ahora abordaré la demanda de consumo.

Muy al contrario de los modelos estándar de IP, no dejo que el empleo dependa de la demanda final total. Para ceñirme en lo posible a la teoría del crecimiento endógeno, asumiré que los niveles de producto están determinados por las condiciones de la oferta. En el modelo, los niveles de producto están amarrados por una sola condición: se emplea totalmente la oferta de fuerza de trabajo agregada. Parte de la oferta de fuerza de trabajo ya se encuentra empleada en actividades de ID u ocupada (directa o indirectamente) por la producción de demanda de materiales para ID. Mi perspectiva, desde la economía de la oferta, en este trabajo implica que supongo que la oferta de fuerza de trabajo restante se utiliza (directa o indirectamente) en la producción de demanda de consumo. Entonces, dadas las condiciones de oferta de fuerza de trabajo en el inicio de un periodo y los requerimientos de insumo por unidad de producto, la ecuación (12) implica optar por una combinación particular de inversión en ID y consumo corriente. Esta opción importante también caracteriza las teorías de crecimiento endógeno que ya se discutieron, pero que ahora se amplía al nivel industria.²²

Un problema importante vinculado con este enfoque es la composición del vector de consumo. Diferentes vectores de consumo cumplen las condiciones de pleno empleo. En principio uno podría adoptar un enfoque de programación lineal [véase por ejemplo, Dervis *et al.*, 1982, c. III], donde

²² Recientemente, Carter [1997] proporciona algunas oportunidades para incluir “cambios de costos” en modelos de insumo-producto. Evidentemente, los costos de ID son parte de ellos. Como tales, el modelo propuesto puede ser visto como un desarrollo de las sugerencias de Carter.

el consumo agregado está compuesto de tal manera que el valor del consumo total (medido en precios constantes o en precios corrientes) queda maximizado. Sin embargo, no elijo esta solución, sobre todo porque parece que este enfoque podría dar origen a fuertes composiciones de consumo discontinuo en periodos en que se dan muchas innovaciones en algunas industrias. En su lugar, sigo un enfoque que recientemente impulsó Verspagen [1999] y que se amplió en Los y Verspagen [1999], que comienza con el supuesto de que la composición del consumo se da al comienzo de cada periodo. Por ejemplo, uno puede suponer que la participación de n bienes depende del nivel de consumo en el periodo anterior, lo que permite modelar curvas Engel de bienes específicos. Dado que la composición del consumo es sabida, la condición de pleno empleo da como resultado un único nivel de consumo $c[t+1]$, dada la ecuación

$$l^{sup}[t+1] - l_s^G[t+1] = \mathbf{I}_c^P[t]'(\mathbf{E} - \mathbf{A}[t])^{-1} \mathbf{b}[t+1]c[t+1] \quad [16]$$

El lado izquierdo denota la diferencia entre oferta de fuerza de trabajo (l^{sup}) y la parte de esa oferta de fuerza de trabajo que está “absorbida” directa o indirectamente en la producción de los materiales para ID y la fuerza de trabajo empleada en ID.

Esto es

$$l_s^G[t+1] \equiv \mathbf{I}_c^P[t]'(\mathbf{E} - \mathbf{A}[t+1])^{-1} \mathbf{Z}_s^R[t+1] \mathbf{e} + \mathbf{e}' \mathbf{1}_s^R[t+1] \quad ^{23}$$

Para la oferta de fuerza de trabajo, se modela un patrón simple de crecimiento exponencial:

$$l^{sup}[t+1] = (1 + \nu) l^{sup}[t] \quad [17]$$

²³ En teoría, el lado izquierdo de la ecuación (16) podría tornarse como negativa. Si se eligen valores razonables para ID con respecto a la relación de producto θ y el coeficiente de insumo en \mathbf{A} , este problema (arroja niveles negativos de consumo) no ocurrirá.

Donde v denota la tasa exógena de crecimiento de oferta de fuerza de trabajo (cfr. ecuación 6). La evolución de la participación de consumo \mathbf{b} (ecuación 16) está gobernada por curvas Engel de bienes específicos, que fueron introducidos por la teoría de crecimiento propuesta por Pasinetti [1981]. Para modelar esto, tomo prestada de Verspagen [1993] una especificación muy elegante, que garantiza que la participación del consumo siempre sea igual a uno:

$$\mathbf{b}[t+1] = \quad [18]$$

$$\mathbf{b}[t] + \left[\hat{\mathbf{b}}[t] \mathbf{T} (\mathbf{b}[t] - \hat{\mathbf{b}}^*) - (\hat{\mathbf{b}}[t] - \hat{\mathbf{b}}^*) \mathbf{T}' \mathbf{b}[t] \right] \cdot \left(\frac{c[t]}{I^{sup}[t]} - \frac{c[t-1]}{I^{sup}[t-1]} \right)$$

En esta especificación, $\hat{\mathbf{b}}^*$ representa la participación de consumo que permanece con niveles infinitamente elevados de consumo per cápita. Los elementos de la matriz \mathbf{T} indican la velocidad con que la participación del consumo corriente se adapta a $\hat{\mathbf{b}}^*$ en presencia de incremento de consumo. Si se opta por que \mathbf{T} tenga ceros en la diagonal principal y valores negativos suficientemente pequeños en cualquier otra parte, no sucederán participaciones negativas y las participaciones reales convergerán monótonamente a su valor asintótico si crece el nivel de consumo per cápita (sin compararse).

Dada la solución para $c[t+1]$ en la ecuación (16), el vector de niveles de producto \mathbf{x} se determina haciendo uso del modelo Leontief estático abierto estándar:

$$\mathbf{x}[t+1] = (\mathbf{E} - \mathbf{A}[t])^{-1} (\mathbf{b}[t+1]c[t+1] + \mathbf{Z}_s^R[t+1]\mathbf{e}) \quad [19]$$

Juntas, las ecuaciones (8)-(19) constituyen el modelo IP de crecimiento impulsado por ID . Dada la solución para el periodo t y los valores de los parámetros, arroja una nueva tabla IP para cada periodo $t+1$. Si se expresa en precios constantes, la igualdad de la suma de la fila y la columna de esta tabla requiere más valor agregado del que se podría tener gracias al insumo de fuerza de trabajo y materiales de ID . El "exceso" de valor agregado se crea debido a la

innovación. Se redistribuye al factor de la fuerza de trabajo por medio de reducción de precios (ecuación 15). Si se expresa en precios corrientes, la tabla queda casi equilibrada. Aparecen términos "excesivos" de valor agregado ligeramente positivos y negativos debido a que los precios determinados en la ecuación (15) no son precios equilibrados. Esto es consecuencia del supuesto de que las industrias no pueden anticipar correctamente los requerimientos reales de fuerza de trabajo por unidad de producto y utilizan los requerimientos de fuerza de trabajo prevalecientes en el periodo previo.

Debido al detalle industrial y su naturaleza estocástica parece imposible estudiar el comportamiento de largo plazo del modelo por medios analíticos. En lugar de ello, la siguiente sección se dedica a una serie de experimentos de simulación para una economía hipotética.

Resultados de la simulación

Habiendo especificado un modelo y teniendo la posibilidad de experimentar con simulaciones para analizar sus propiedades, generalmente es una tentación informar sobre tantos experimentos como sea posible. En esta sección he decidido resaltar sólo algunos experimentos que proporcionan ideas básicas sobre la interacción de las ecuaciones que componen el modelo, o proporcionan indicios del potencial que tendrían políticas relacionadas con el valor agregado de los modelos IP de crecimiento endógeno y en relación con modelos endógenos agregados.

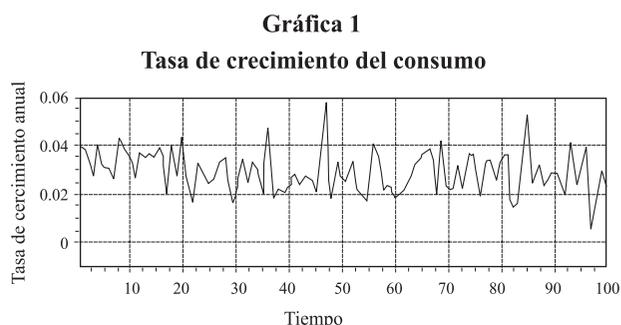
Con respecto a la especificación de la configuración de la variable inicial y la calibración de los parámetros, hubiera podido optar por una economía que se asemejara lo más que se pudiese a una economía real, pero no lo hice porque hubiera significado trabajar con una estructura industrial muy rica pero imposible de tratar, a la vez que hubiera tenido que adaptar la información empírica hasta un punto incierto para evitar los flujos de intercambio comercial internacional y existencias y flujos de bienes de capital. En lugar de ello, presento resultados de simulaciones para una economía totalmente hipotética con oferta de fuerza de trabajo constante, que sólo posee tres industrias homogéneas. Los valores iniciales de las variables y parámetros se

eligieron de manera tal que casi son “consistentes”. Por ejemplo, el nivel inicial de la oferta de fuerza de trabajo I^{sup} se eligió de manera tal que casi equivale a la fuerza de trabajo necesaria para los niveles iniciales de producto x (siendo necesaria una fuerza de trabajo inicial por unidad de producto I_c^P) y hacerse cargo de la actividad de ID que implica la intensidad de ID θ (siendo la relación inicial entre materiales y fuerza de trabajo en ID de Z_c^R). Sin embargo, el análisis en esta sección mostrará que el comportamiento del modelo a largo plazo no se ve afectado por la “inconsistencia” de valores iniciales, siempre y cuando éstos se encuentren en un rango amplio de valores “consistentes”.

Correr una simulación típica

Una mirada general al Apéndice deja ver que las tres industrias especificadas, en un inicio, tienen el mismo tamaño en términos de sus respectivos niveles de producción bruta. Los niveles iniciales de productividad de la fuerza de trabajo no se desvían demasiado (aparte de los costos de ID relativamente pequeños, los niveles iniciales de valor agregado real son equivalentes a los insumos de la fuerza de trabajo), no obstante, las industrias difieren ante todo con respecto a las tasas promedio de llegada de innovaciones.

La industria 1 representa una con tecnología de punta, lo que se refleja en la media de la tasa de crecimiento de más de 6%, lo que está implícito en las ecuaciones (8-10), los valores de los parámetros de productividad de ID α_1 , γ_1 y la elevada intensidad de ID θ_1 de 10%. Por ello, su ID resulta en difusión relativamente importante de conocimiento hacia las otras industrias. Sin los efectos de difusión proveniente de la industria 1 (cuya magnitud depende de la estructura industrial), la tasa de incremento de productividad de la industria 2 estaría, en promedio, apenas por encima de 3%, mientras que su gasto en ID equivaldría a 2% de sus ventas previas. Dada esta intensidad de ID , esta industria podría ser denominada como una con “tecnología media” en términos generalmente utilizados por la clasificación hecha por la OCDE. La industria 3 sólo es intensiva 0.6% en ID , aunque debe suponerse que se beneficia con la difusión proveniente de las otras dos indus-



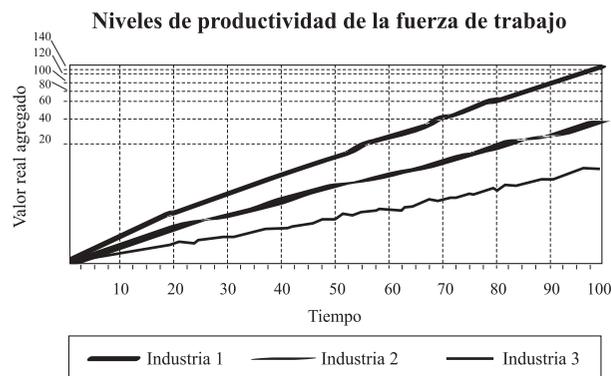
trias. Dejando de lado estos efectos de la difusión, la tasa promedio de incremento de productividad de la fuerza de trabajo de esta industria con baja tecnología llega a 2.2%.

La gráfica 1 muestra que el incremento de la productividad impulsada por ID se traduce en incremento del consumo, expresado en $(c[t + 1]/c[t] - 1)$. Hasta cierto punto hay fluctuaciones debidas al carácter aleatorio que se especificó para el proceso innovador. Por supuesto, la “amplitud” de la fluctuación se ve afectada por la magnitud exógena de la innovación. Es claro que el modelo produce incremento del consumo a largo plazo, aunque su tasa promedio podría desacelerarse un poco con el tiempo. Esto se confirmó al correr 50 simulaciones para la misma configuración de parámetros. Medido a lo largo de 100 intervalos completos, el incremento promedio del consumo anual (promediado en 50 corridas) equivale a 2.75%, mientras que la misma estadística sólo asciende a 2.62% si se mide en los últimos 20 intervalos de los periodos de simulación. Esto podría deberse básicamente a dos elementos subyacentes: el crecimiento de la productividad se reduce a nivel de la industria y/o un crecimiento entorpecido del empleo cambia hacia industrias con niveles más bajos de productividad. Las gráficas 2 y 3 muestran que la segunda explicación es la más probable.²⁴ En la gráfica 2 (con un eje vertical logarítmico), las líneas casi derechas indican que las tasas de crecimiento de productividad de la fuerza de trabajo a nivel industrial, en términos de valor agregado real por trabajador, no decrecen.

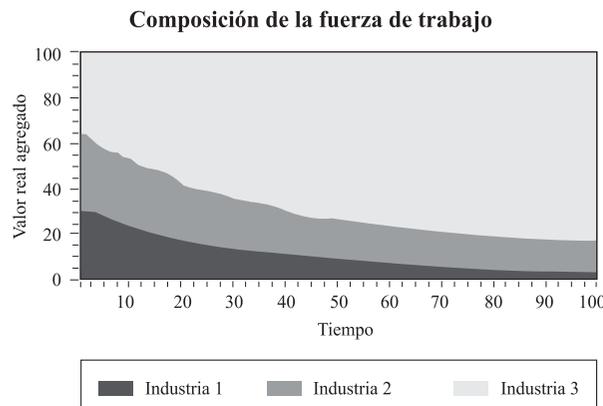
²⁴ La revisión de los resultados de simulación en periodos más extensos (que no se presentan en este trabajo) también muestra que la tasa de crecimiento del consumo se arregla asintóticamente a un valor constante.

La gráfica 3 muestra que una fracción cada vez mayor de la fuerza de trabajo ($e'(I_s^P + I_s^R)$) se emplea en la industria 3 que presenta un crecimiento de la productividad bajo. Como tal, el modelo resultante es opuesto a, aunque reconciliable con, “el ejército de reserva de fuerza de trabajo agrícola”; explicación del crecimiento que proponen algunos economistas del desarrollo [Lewis, 1954]. Esta teoría señala que las altas tasas de crecimiento de la productividad que experimentaron países no desarrollados se deben ante todo al desplazamiento de la fuerza de trabajo que abandonó la agricultura de baja productividad para emplearse en la manufactura de alta productividad.

Gráfica 2



Gráfica 3

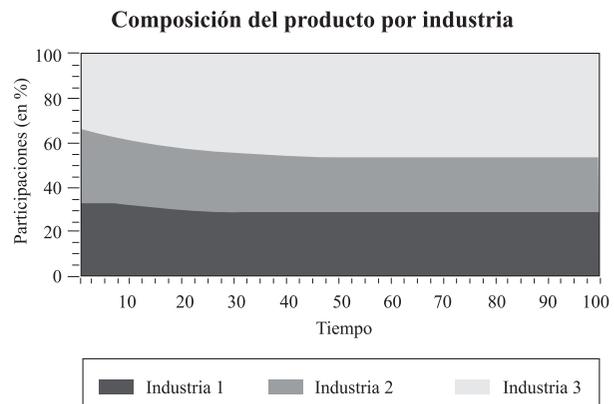


Que el insumo de trabajo en las industrias con tecnología de punta y tecnología media, 1 y 2 respectivamente, se haya casi desvanecido, es claro que no concuerda con los hechos observados. Esto se debe a que el modelo considera todo incremento de la productividad como parte del proceso de innovación, mientras que las industrias “reales” con

tecnología de punta (por ejemplo, la “manufactura de máquinas computadoras” y la de “instrumentos”) se caracterizan por la innovación de productos que reducen los requerimientos de fuerza de trabajo en las industrias que van a la zaga. Entonces, una de las primeras mejoras que debe buscar el modelo es la incorporación de innovaciones en el producto.

La gráfica 4 considera la composición del producto bruto agregado ($e'x$), medido en precios constantes. Las diferencias entre la participación del consumo inicial y la “participación a niveles de consumo infinito” produce un proceso de ajuste de cerca de 50 periodos. Durante este periodo, la participación de las industrias 1 y 2 en el consumo decrece en beneficio de la industria 3. Esto se traduce en desarrollos similares de la participación de producto, a través de los efectos de los multiplicadores Leontief. Sin embargo, es interesante hacer notar que la participación de la industria 1 en el consumo parece reducirse en menor medida que el de la industria 2. Esto se debe a dos causas: la participación inicial de la industria 1 en el consumo b_1 está más cercana a su nivel asintótico b_1^* que en el caso de la industria 2. Segunda, y probablemente más interesante, se supone que todos los materiales de ID los entrega la industria 1. En consecuencia el incremento del producto de la industria 3 (inducido por la dinámica de participación del consumo) origina un incremento en su nivel de actividad de ID , lo que induce demanda de los materiales de ID que proporciona la industria 1. Este es el primer resultado que indica que los vínculos interindustriales podrían ser importantes para el crecimiento de largo plazo y el cambio estructural.

Gráfica 4



Un poco de análisis sensible

Los resultados de las simulaciones que hemos presentado hasta aquí apenas son una visión muy preliminar del cuadro completo, en el sentido de que no proporcionan ninguna pista que ayude a determinar qué variables o parámetros son causa de tasas de crecimiento positivas a largo plazo. Incluso, podría suceder que no tengan ninguna relación con la selección de intensidad de ID. En consecuencia, queda por ver si se encuentran resultados similares al considerar diferentes opciones del proceso estocástico. Pero antes regreso a discutir algunos experimentos de simulación para industrias específicas, retomo algunos resultados que se obtienen cuando se supone que ciertas decisiones sobre ID y/o sus consecuencias hacen variar toda la economía en el mismo grado. En esta presentación me centro en dos variables que por lo general son vistas como medidas importantes de “bienestar a largo plazo”: el valor neto actual (VNA) de consumo y el promedio anual de la tasa de crecimiento real del PIB. Este último se calculó de acuerdo con $\Sigma(1 - \delta)^t c[t]$, siendo δ la tasa de tiempo preferente (tasa de descuento), para un intervalo de 100 periodos. El promedio de la tasa de crecimiento real del PIB se calculó sobre el periodo de 11 a 100, para dejar fuera los efectos a corto plazo de las configuraciones de variables iniciales no consistentes (véase la introducción a la sección). Corrí 50 simulaciones para cada uno de cinco escenarios, los cuales no difieren con respecto a la configuración inicial de variables; los cambios se dan en los valores de los parámetros. El resumen de los resultados, para $\delta = 0.05$, aparecen en la tabla 1.

Tabla 1
Efectos en la economía de los cambios económicos

| | Media VNA consumo* | Desviación estándar | Media anual de crecimiento del PIB | Desviación estándar |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------------------|------------------------|
| Configuración <i>benchmark</i> | 48788.2 | 1596.0 | 0.0280 | 0.00085 |
| Incremento permanente de ID | 52719.6 | 1803.0 | 0.0303 | 0.00094 |
| Incremento temporal de ID | 51453.5 | 1908.8 | 0.0278 | 0.00103 |
| No hay difusión | 42795.1 | 1226.2 | 0.0244 | 0.00078 |
| No hay inversión en ID | 23829.1 | 16.8 | 0.0000 | 0.00000 |

*VNA: valor neto actual, en precios constantes.

La primera fila (“configuración *benchmark*”) se obtiene del valor de los parámetros que se proporcionan en el Apéndice. De hecho, la primera de las 50 corridas para este escenario fue la que sirvió para presentar los diagramas de la subsección anterior. La variación en la tasa de crecimiento del PIB, como lo hace evidente la desviación estándar en la columna que aparece más a la derecha, parece ser relativamente pequeña.

El segundo escenario (“incremento permanente de ID”) supone que cada una de las tres industrias incrementa la intensidad de su ID (θ) en 25%, para todo el lapso de 100 periodos. Aparentemente, vale la pena el sacrificio inicial de consumo para liberar fuerza de trabajo para ID adicional y producir materiales necesarios con el fin de atender una tasa de crecimiento mayor (aproximadamente 0.23 anual), ya que el VNA del consumo es mayor que en el escenario de *benchmark*. Con respecto a este resultado, y los resultados de la simulación que presentamos a continuación, hay que hacer notar que el tamaño de la diferencia que surge entre los escenarios es mayor dependiendo del valor de los parámetros elegidos. Por ejemplo, a mayores valores para los parámetros de “reducción de rendimientos de ID”, se incrementará la brecha entre las tasas de crecimiento del PIB que se encontraron para el escenario *benchmark* y el de “incremento permanente de ID”. Sin embargo, la conclusión más importante es que contamos con un verdadero modelo de crecimiento endógeno, ya que un cambio permanente en la fracción de recursos dedicados a ID afecta la tasa de crecimiento del PIB a largo plazo.

El tercer escenario (“incremento temporal de ID”) se definió para averiguar si los cambios temporales en la intensidad de ID tienen efectos permanentes o no. Este escenario es idéntico al de *benchmark*, excepto por los primeros cinco periodos, en los que cada esfuerzo de ID se duplican en cada industria. De la media anual de la tasa de crecimiento reportada se puede concluir que un cambio temporal no tiene efectos permanentes sobre el *crecimiento*. De manera simultánea se presenta un *nivel* de efecto permanente, como en los “modelos de crecimiento endógeno sin efectos de escala”; modelos que discutí anteriormente. Este nivel de efecto (crecimiento con un nivel de consumo elevado durante el choque e iguales tasas de crecimiento

después del choque) arrojan un VNA de consumo mayor que en el caso de *benchmark*.²⁵

El escenario cuatro (“No hay difusión”) supone que las industrias invierten tanto como pueden en ID, como en el caso de *benchmark* y experimentan los mismos efectos de productividad en su propia ID, pero no pueden beneficiarse de la difusión de conocimiento proveniente de otras industrias (todas las η están establecidas en cero). Esto tiene un efecto negativo significativo sobre la tasa de crecimiento de largo plazo. Por ello, el VNA de consumo es considerablemente bajo. Esto no es sorprendente, ya que el crecimiento de la productividad inducida por la difusión no requiere ningún sacrificio del consumo corriente.

El escenario final (“No hay inversión en ID”) simplemente supone que no hay ningún tipo de ID. Los resultados son claros: la economía queda atrapada en una situación de inmovilidad, sin crecimiento. El extremadamente bajo VNA de consumo futuro lo genera una serie estable de niveles de consumo.²⁶

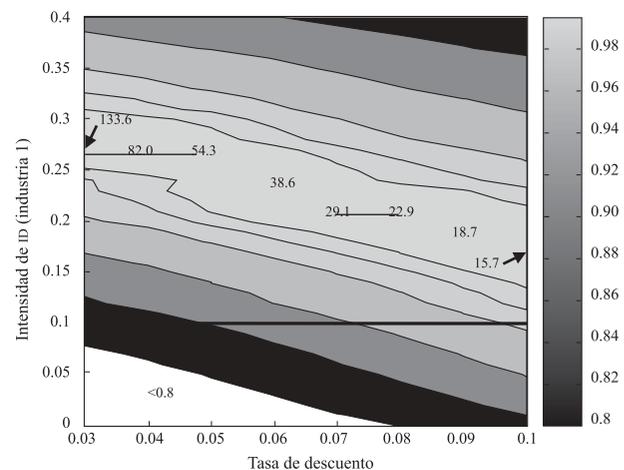
Intensidades óptimas de ID

Uno de los aspectos más importantes que surgen de la teoría de crecimiento endógeno es que la inversión en ID podría ser muy baja debido al hecho de que las empresas que buscan la máxima ganancia no toman en cuenta los efectos positivos de la difusión (véase la sección 2). En el modelo presente, las industrias no buscan la máxima ganancia, sino que determinan su gasto en ID de acuerdo con un método práctico muy simple. Suponer este comportamiento crea la posibilidad de que se dediquen muchos recursos a ID, independientemente de cualquier proceso de destrucción creativa en escala microeconómica. En el marco de este modelo IP de crecimiento, la sobreinversión queda reflejada

por un sacrificio inmenso del consumo corriente. En esta sección quiero hacer hincapié en la importancia de las diferencias y vínculos entre industrias para el asunto de la inversión óptima en ID. En el camino se verá la influencia de las probabilidades sobre el resultado.

En la gráfica 5 se resume gran número de simulaciones. La configuración del parámetro *benchmark* se mantiene, excepto para la intensidad de ID de la industria 1, con tecnología de punta. Para cada uno de los 41 valores que van de $\theta_1 = 0.0$ a $\theta_1 = 0.4$, se realizaron 200 corridas para 100 periodos. El valor neto actual de consumo resultante se computó y promedió con respecto a las 200 corridas y ocho tasas de descuento, que iban de $\delta = 0.03$ a $\delta = 0.10$. Todos los VNA promedio se dividieron entre el máximo VNA encontrado para la correspondiente tasa de descuento, para encontrar qué intensidad de ID es la óptima.

Gráfica 5
Intensidades óptimas de ID (industria 1),
diversas tasas de descuento



Para indicar que el diagrama es una proyección de una gráfica tridimensional en un plano de dos dimensiones, el VNA máximo posible se marca con sus valores absolutos. No es sorprendente que dichos valores decrecen si se incrementan las tasas de descuento, dado que un nivel de consumo futuro dado es menos valorado a mayores tasas de descuento. Una primera conclusión importante: la

²⁵ Por supuesto, este mejoramiento en el bienestar depende fuertemente de la supuesta tasa de descuento. Más adelante abordaré este asunto.

²⁶ La desviación estándar, aunque muy pequeña es positiva en la segunda columna de la tabla 1; la origina la innovación durante el primer periodo. Los gastos en ID positivos en la configuración de la variable inicial genera innovación en algunas corridas debido al periodo de retraso en la ecuación (10). Este es un claro ejemplo de una configuración de variable inicial que resulta “inconsistente” con los parámetros establecidos.

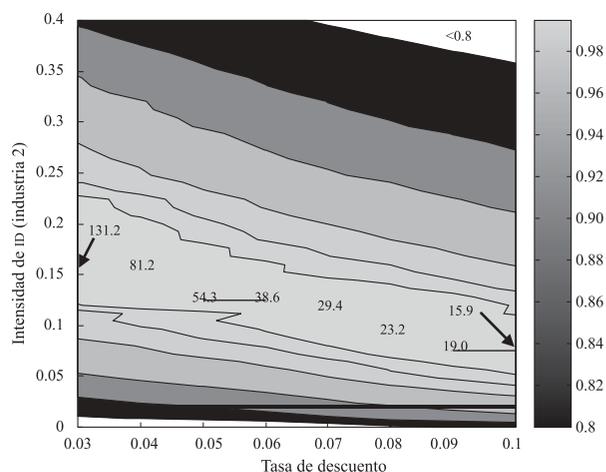
intensidad óptima de ID es, ciertamente, sensible a la tasa de descuento. Para tasas de descuento bajas, la θ_1 óptima es 0.27 aproximadamente; para tasas altas de descuento se reduce a cerca de 0.17. Esto señala que la economía hipotética puede mejorar su desempeño en la configuración *benchmark* si mantiene todos los parámetros constantes e incrementa la intensidad de ID para la industria 1 de 0.10 (señalada en la gráfica por medio de una línea horizontal) a un valor mayor. El no permanecer en la intensidad corriente depende mucho de la tasa de descuento. A una tasa de descuento de 0.1 el correspondiente v_{NA} de $\theta_1 = 0.1$ excede 98% del nivel máximo asequible, pero a un δ de 0.03, la pérdida se incrementa a no menos de 14% del máximo v_{NA} .

Para marcar los efectos de las diferencias entre industrias, en la gráfica 6 presento un diagrama similar para la industria 2 de tecnología media. El patrón de intensidad de ID óptima que disminuye con la tasa de descuento se confirma. La conclusión más importante que se puede obtener de la gráfica 6, sin embargo, es que las intensidades de ID óptimas se especifican, ciertamente, de acuerdo con la industria. Mientras la gráfica 5 indica que la intensidad óptima de la industria 1 tiene un rango que va de 0.17 a 0.27, la gráfica 6 muestra que los valores correspondientes para la industria 2 son más bajos, entre 0.09 y 0.18. Entonces, perder la posibilidad de elegir (o inducir por medio de medidas de política) una intensidad subóptima de ID es menor para la industria 2 que para la industria 1, en particular para tasas de descuento bajas y para intensidades por encima de la óptima. Probablemente esto se debe al hecho de que la industria 3 (que se convierte en la más grande, en términos de empleados y producto, véanse las gráficas 3 y 4) se beneficia más de la difusión proveniente de la industria 2 que de aquellos conocimientos generados por la industria 1 ($\eta_{13} = 10.0$, $\eta_{23} = 15.0$). Entonces, asignar demasiados recursos de fuerza de trabajo a ID en la industria 2 es menos costoso que tomar la misma decisión equivocada en la industria 1 debido a la mayor compensación proveniente de la ganancia en productividad futura en una industria 3. A mayores tasas de descuento, puede que este efecto se invierta, porque entonces la mayor distribución industrial del empleo y producto al comienzo del intervalo de la simulación adquiere mayor peso. En

consecuencia, los efectos de la difusión proveniente de la industria 1 hacia la industria 2 adquieren mayor importancia.

Otra observación importante es que el patrón que aparece en la parte izquierda de la gráfica 6 sólo aparece con claridad hasta después de tomar promedios durante varias corridas. Para muestras menores de 50 rondas, lo relativamente llano del “panorama v_{NA} ” causa la intensidad de ID que se identifica como “opcional”; fluctúa a lo ancho de un rango amplio de valores. Dado que en la vida real el futuro consiste de una sola corrida, quiero subrayar que el resultado de la intensidad de ID óptima *ex ante* con mucha frecuencia aparecerá como subóptima *ex post*. En realidad este problema se verá reforzado por el hecho de que la distribución de probable ocurrencia de innovación, dada una cierta intensidad de ID (ecuaciones 8-10 y sus parámetros) será desconocida.

Gráfica 6
Intensidad óptima de ID (industria 2),
diversas tasas de descuento



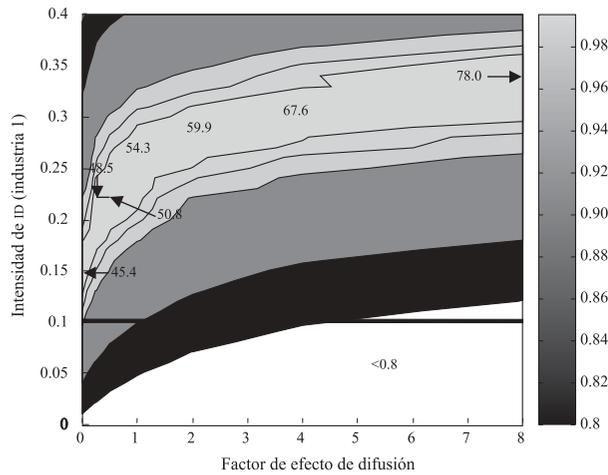
Los modelos de IP de desarrollo proporcionan oportunidades para observar lo sensible que son las intensidades de ID óptimas a los efectos producto del mejoramiento de la producción gracias a la difusión de conocimiento proveniente de una o más industrias específicas. Podía esperarse que efectos positivos más fuertes dieran como resultado intensidades óptimas más elevadas para la industria que

genera la difusión, dado que el conjunto de la economía se beneficiaría más del sacrificio de un consumo corriente dado. El efecto para las intensidades óptimas de las industrias receptoras de la difusión son menos claros. Para investigar sobre este aspecto, multipliqué los efectos de productividad de la difusión generada por la industria 1, que cuenta con tecnología de punta (η_{1j} , $j = 1..3$), por varios valores ρ ($\rho = 0.0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4$ y 8) y nuevamente corrí 200 simulaciones para variar las intensidades de ID. El VNA de consumo futuro relativo a su máximo valor ($\delta = 0.05$) se marca en la gráfica 7 (para la industria 1 generadora de difusión) y 8 (para la industria 2, receptora de la difusión).

como consecuencia de no seleccionar la intensidad óptima, en general, es más pequeña para las industrias que generan difusión. Para elevado ρ , parece que la θ_2 óptima decrece de alguna manera. Esto posiblemente señala hacia una situación en la que la industria 2, con tecnología media, podría limitar sus actividades de ID a un nivel relativamente modesto y descansar en los efectos positivos sobre la producción que tiene la difusión de conocimiento proveniente de la industria 1, con alta tecnología, si esto excede un cierto límite. Los valores del VNA marcado para la intensidad óptima de ID muestra que una estrategia como esa rinde, ciertamente, VNA elevados para ρ elevados.

Gráfica 7

Intensidades óptimas de ID (industria 1),
diversos efectos de difusión

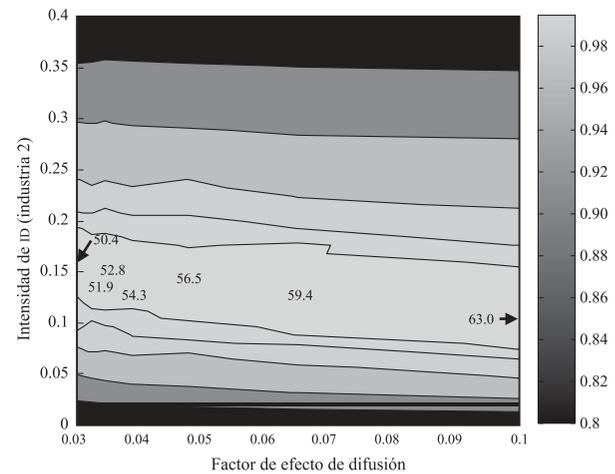


La gráfica 7 muestra que los resultados de la simulación confirman las expectativas con respecto a la intensidad óptima de ID para la industria que genera la difusión: a efectos de productividad muy bajos (al menos en comparación con el *benchmark*) θ_1 debe tomar un valor de aproximadamente 0.15, mientras que efectos de productividad muy altos de la difusión (ρ elevado) garantizarán una θ_1 cercana a 0.35. Entonces los resultados para los valores intermedios de los η indican que esta relación es de naturaleza monótona.

La gráfica 8 no proporciona una idea tan clara para las industrias que reciben la difusión. Para ρ bajos, la intensidad ID óptima θ_2 sube y baja, pero la pérdida en que se incurre

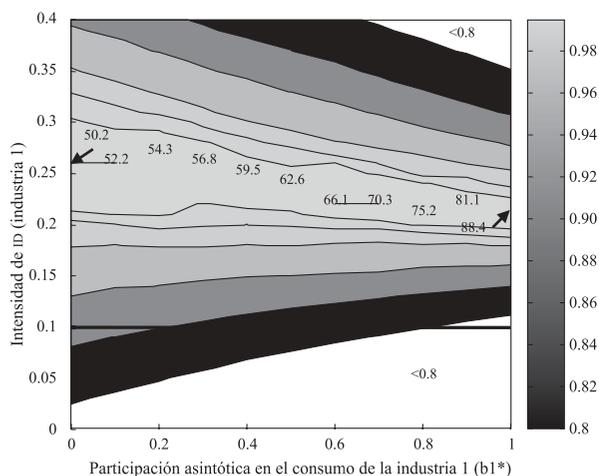
Gráfica 8

Intensidad óptima de ID (industria 2),
diversos factores de división



El último aspecto que me gustaría discutir, es el efecto del conjunto de dinámicas de consumo sobre las intensidades óptimas de ID y tasas de crecimiento de largo plazo. Un cambio hacia el consumo de bienes con tecnología de punta parece que traería un mayor crecimiento del PIB real, ya que una buena participación de la fuerza de trabajo estaría desempeñándose en actividades con alto crecimiento de la productividad. Una pregunta interesante es si dicho cambio también afectaría la intensidad óptima de ID de dicha industria. De acuerdo con la ecuación (10), de incrementarse la difusión de la industria que produce conocimiento relacionado con el de las otras

Gráfica 9
Intensidades óptimas de ID (industria 1),
diversas composiciones de consumo



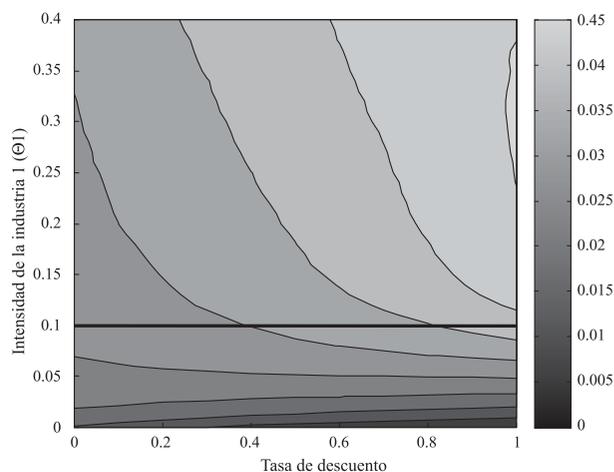
industrias acrecentaría el efecto productivo de dicha difusión. En consecuencia, uno podría esperar que la intensidad óptima de ID del principal productor de difusión de conocimientos se incremente de manera proporcional a su tamaño, manteniendo en mente los resultados de varios efectos de la difusión de conocimiento (gráfica 7).

Los resultados se presentan en las gráficas 9 y 10. El eje horizontal en ambas gráficas representa la participación de consumo de la industria 1 con tecnología de punta y con niveles de consumo infinitos (b_1^*). Para agregar satisfactoriamente la limitación en la participación del consumo, supongo que un incremento en la participación asintótica de la industria 1 lleva a un decrecimiento de las otras dos participaciones en proporción a sus respectivos valores *benchmark*. Los resultados en la gráfica 9 son claros. La intensidad óptima de ID (que se encontró para una tasa de descuento de 0.05) θ_1 difícilmente se ve afectada por las participaciones en el consumo. Si hay un efecto cualquiera, es un efecto negativo, lo que va contra lo esperado. Lo que sí iría de acuerdo con lo esperado es la pérdida en que se incurriría al invertir muy poco en ID; claramente se incrementa con la participación asintótica en el consumo de la industria 1. El VNA del consumo futuro con las intensidades óptimas se incrementa con b_1^* , lo que podría

esperarse debido a la composición más favorable del empleo asociado con altos b_1^* .

No obstante que la intensidad óptima de ID no parece ser muy sensible al observar los resultados de las simulaciones, la gráfica 10 muestra que la tasa de crecimiento de largo plazo del PIB real (nuevamente medida a lo largo de los periodos 11-100, véase la discusión de la tabla 1) puede verse bastante afectado. Para las empresas con alto crecimiento productivo y alta participación en el consumo, intensidades relativamente bajas de ID son suficientes para obtener una tasa de crecimiento dada.²⁷ Por supuesto que este resultado no es sorprendente; sin embargo, puede tener implicaciones de política muy importantes, en particular cuando se considera que una economía compite por una participación en el mercado con otros países. En ese caso, una demanda de exportación extra de bienes con

Gráfica 10
Tasas de crecimiento del PIB, diversas intensidades de ID
(industria 1) y composiciones de consumo



²⁷ La gráfica 10 muestra que los casos extremos de $b_1^* > 0.9$, implican que a niveles elevados de consumo per cápita casi toda la demanda de consumo es de los bienes que produce la industria 1. Una intensidad elevada de ID no necesariamente produce una tasa de crecimiento del PIB elevada (véase los resultados para $\theta_1 > 0.25$). Este resultado, que va contra lo intuitivo, se debe probablemente a la opción que tomé, es decir, dejar fuera los periodos 1-10 del cálculo de la tasa de crecimiento anual promedio. Muchas de las innovaciones asociadas con un muy elevado θ_1 en estos primeros periodos originan una composición del empleo relativamente desfavorable al comienzo del periodo 11.

tecnología de punta equivaldría a una participación elevada del consumo de dichos productos. En la sección de conclusiones trato algunos desarrollos del modelo que podrían valer la pena; uno de ellos es la incorporación del comercio internacional.

Conclusiones

Este trabajo se inició con la declaración hecha por Leontief [1989] de que la tarea principal de los análisis de IP debería ser proporcionar herramientas que pudieran reducir la brecha cada vez más amplia entre la teoría económica abstracta y la observación de hechos. En la primera sección se presentó un modelo de IP dinámico que conserva algunos elementos característicos de un aspecto relativamente reciente de una teoría dominante (teoría del crecimiento endógeno) y mostró que produce resultados intuitivos plausibles en experimentos de simulación. El mensaje principal del modelo es que la diferencia entre industrias, así como sus vínculos económicos y tecnológicos, son importantes para las tasas de crecimiento de largo plazo impulsadas por ID. Como tal, uno podría decir que la teoría del crecimiento endógeno gana cuando se utiliza un enfoque de IP explícito. Sin embargo, debe admitirse que el modelo en sí mismo tiene poco que ofrecer a los diseñadores de políticas que enfrentan problemas para mejorar la capacidad de innovación de industrias particulares o apoyar industrias amenazadas pero que den un aporte sustancial a las economías nacionales (o regionales) en términos de producto o empleo. El modelo es demasiado simple y los resultados de economías hipotéticas no nos dicen mucho acerca de las economías reales. En esta sección de conclusiones señalaré algunos aspectos que pueden avanzarse en investigaciones futuras, que de ser exitosas, considero, podrían incrementar su relevancia práctica tanto para la teoría del crecimiento endógeno como para los análisis de IP.²⁸

Primero, el modelo sólo contiene dos tipos de insumo, fuerza de trabajo e insumos intermedios. Esto difiere evidentemente con la realidad, en la que varios tipos s de insumos de capital durable se utilizan tanto en los procesos de pro-

ducción como en actividades de ID. Algunos experimentos preliminares (que no se documentan en este trabajo) indican que la inclusión de bienes de capital y ganancias asociadas serían posibles en el marco de este modelo. Por ejemplo, uno podría pensar en un proceso de decisiones de inversión en dos etapas donde una fracción de las ganancias, de una industria específica, proveniente del periodo anterior se retiene para su total inversión.²⁹ Dado el presupuesto de inversión resultante de esta primera etapa, las industrias gastan una fracción fija de su presupuesto en ID. Esta decisión implica optar entre agrandar su capacidad productiva futura (invirtiendo en bienes de capital físico) y reduciendo los requerimientos futuros de fuerza de trabajo (al invertir en la búsqueda de innovaciones que ahorren fuerza de trabajo). En este caso, la única restricción para los niveles de producto en el presente modelo (la demanda de fuerza de trabajo equivale a la oferta exógena de fuerza de trabajo), debería reemplazarla una restricción de por lo menos $n + 1$. La demanda total de fuerza de trabajo no debería exceder la oferta exógena de fuerza de trabajo y ninguna tasa de utilización de existencias de capital n (una para cada industria) debe exceder de 1. Un mecanismo en que las tasas de ganancia n sean sensibles a las tasas de utilización de n existencias de capital a la tasa y también para el desempleo agregado, se esperaría que garantizase un tipo de ciclo de crecimiento. Sin embargo, los experimentos preliminares, sufrieron de inestabilidades “fatales” de corto plazo que ocurren cuando el modelo cambia de una “industria i con capacidad limitada” de nivel de consumo máximo a una “industria j con capacidad limitada” de nivel de consumo máximo.

Modelar las existencias de capital no sólo hace que el modelo sea más real, es una forma de incorporar restricciones de la industria específica respecto a la producción y el consumo. Una opción potencialmente valiosa con una naturaleza más o menos similar podría ser la introducción de varios tipos de fuerza de trabajo, requerida en diferentes proporciones por la industria específica. Por ejemplo, si uno supusiera que todas las actividades de ID y producción

²⁸ La ausencia de innovación de producto se mencionó con anterioridad por lo que no me detendré más en el asunto.

²⁹ De manera alterna uno podría argumentar que los ogares ahorran una fracción fija de ingreso no salarial y ubican estos fondos en industrias, en proporción en su participación en ganancias agregadas. Véase Dervis *et al.* [1982: 177] para una discusión más detallada.

con tecnología de punta requieren de una escasez relativa de ingenieros altamente calificados, las decisiones sobre ID que tomen las industrias con tecnología media seguramente tendrán un mayor impacto que en las simulaciones que presenté en este trabajo. La inclusión de varias categorías de calificación también permitirían enfoques de IP para los modelos de crecimiento endógeno no schumpeterianos, donde las economías crecen como consecuencia de la inversión en capital humano. La forma más directa para tomar en cuenta la formación de capital humano sería la de especificar una industria educativa, que podría financiarse con impuestos establecidos sobre la producción o el consumo.

Una palabra final sobre la ampliación del modelo con el fin de que responda más a las preocupaciones de los diseñadores de políticas: modelar el comercio internacional. En particular para la mayor parte de los países europeos y asiáticos habría que incluir los efectos que tienen las nuevas tecnologías sobre el desempeño de las exportaciones, ya que su apertura origina una relación muy fuerte entre exportaciones y crecimiento. De incorporar el vínculo tecnología-exportaciones, es posible que haya un cambio serio en los resultados de las simulaciones, en el sentido de que las intensidades óptimas de ID más bien no son sensibles a la participación de las industrias en la producción total, ya que industrias con alto valor agregado podrían perder participación en el mercado mundial. Desde mi punto de vista, una forma natural de avanzar en esta dirección sería integrar los modelos impulsados por ID, que utilizamos en este trabajo, con una versión modificada del modelo de IP de crecimiento para dos países, recientemente propuesto por Los y Verspagen [1999]. En este último modelo, la participación en el mercado depende de las diferencias en tecnología, que se amplían gracias a las innovaciones (exógenas) en los países que van a la punta y que se reducen debido a la difusión de conocimientos intraindustriales que van hacia los países rezagados. Entonces, puede estudiarse el efecto que tiene la retroalimentación de la tecnología sobre los patrones de especialización endógena, el (des) equilibrio en la balanza de pagos y en los movimientos del tipo de cambio. Apropiarse de las capacidades de innovación y absorber el conocimiento proveniente de la difusión al dedicar parte de los recursos de ID, podría ser un mejoramiento bastante útil.

He dejado para el final un breve comentario sobre un asunto bastante complicado con respecto a la instrumentación práctica de estos modelos. Las tablas de insumo-producto ampliamente publicadas, así como datos sobre comercio internacional por industria y datos sobre gastos en ID por industria podrían ser suficientes para preparar la configuración de variables iniciales que asemejen razonablemente bien a las economías actuales.³⁰ No obstante, la confiabilidad de los resultados de las simulaciones serán cuestionables mientras los parámetros que encadenan el crecimiento de la productividad con los esfuerzos de ID no hayan sido fijados con valores sensibles. El problema es que los estudios empíricos obtienen tasas de rendimiento para la “propia” ID y la difusión de conocimientos, que varían en un rango tan amplio que es imposible decir qué valores son sensibles y cuáles no.³¹ En consecuencia, continuar con los esfuerzos de investigación y una interacción decidida entre teóricos del crecimiento, investigadores de insumo-producto y econométricos, parece ser indispensable para convertir los avances de la teoría del crecimiento en una herramienta útil para los diseñadores de políticas.

Reconocimientos

El presente trabajo parte de los capítulos 6 y 7 de mi tesis doctoral [Los, 1999], que presenté y defendí en la Universidad de Twente. Deseo agradecer a mis asesores de tesis Albert Steenge y Bart Verspagen por todas sus sugerencias siempre útiles. Parece que el trabajo conjunto con Bart Verspagen [Los y Verspagen, 1999] es una fuente de inmensas externalidades positivas de todo tipo, pero particularmente en lo referente a la programación. Además estoy agradecido con Erik Dietzenbacher, editor de *ESR*, con Rutger Hoekstra y Marco Janssen, participantes en el seminario en MERIT (Universidad de Maastricht) y ECIS (Universidad Tecnológica de Eindhoven), así como a los participantes del 13th International Conference on Input-Output Techniques (Macerata, 21-25 de agosto de 2000) por los comentarios constructivos a una

³⁰ Véase por ejemplo, los debates de la OCDE, IO, STAN, BTD y ANBERD, quienes distinguen 35 industrias para un número de países bien desarrollados.

³¹ Pueden verse encuestas de estimación de resultados en Nadiri [1993] y Mohnen [1994].

versión preliminar. No obstante, soy responsable de las deficiencias y errores que aún quedan.

Bibliografía

- Aghion, Ph. y Howitt, P. (1992). "A Model of Growth through Creative Destruction", *Econometrica*, 60, pp. 323-351.
- Aghion, Ph. y Howitt, P. (1998). *Endogenous Growth Theory*, Cambridge MA, MIT Press.
- Backus, D.K., Kehoe, P.J. y Kehoe, T.J. (1992). "In Search of Scale Effects in Trade and Growth", *Journal of Economic Theory*, 58, pp. 377-409.
- Carter, A.P. (1997). "Change as Economic Activity", en A. Simonovits y A.E. Steenge (eds.), *Prices, Growth and Cycles*, Londres, Macmillan, pp. 19-34.
- Cohen, W.M. y Levinthal, D.A. (1989). "Innovation and Learning: The Two Faces of R&D", *Economic Journal*, 99, pp. 569-596.
- Dervis, K., de Melo, J. y Robinson, S. (1982). *General Equilibrium Models for Development Policy*, Cambridge, RU, Cambridge University Press.
- Dietzenbacher, E. (1997). "In Vindication of the Ghosh Model: A Reinterpretation as a Price Model", *Journal of Regional Science*, 37, pp. 629-651.
- Dietzenbacher, E. y Los, B. (2000). *R&D Multipliers*, trabajo que se presentó en la 13th International Conference on Input-Output Techniques, 21 al 25 de agosto, Macerata, Italia.
- Dinopoulos, E. y Thompson, P. (1999). "Scale Effects in Schumpeterian Models of Economic Growth", *Journal of Evolutionary Economics*, 9, pp. 157-185.
- Duchin, F. y Szyld, D.B. (1985). "A Dynamic Input-Output Model with Assured Positive Output", *Metroeconomica*, 37, pp. 269-282.
- Edler, D. y Ribakova T. (1993). "The Leontief-Duchin-Szyld Dynamic Input-Output Model with Reduction of Idle Capacity and Modified Decision Function", *Structural Change and Economic Dynamics*, 4, pp. 279-297.
- Freeman, C. (1983). *The Economics of Industrial Innovation*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Ghosh, A. (1958). "Input-Output Approach in an Allocation System", *Economica*, 25, pp. 58-64.
- Griliches, Z. (1979). "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth", *Bell Journal of Economics*, 10, pp. 92-116.
- Grossman, G.M. y Helpman, E. (1990). "Comparative Advantage and Long Run Growth", *American Economic Review*, 80, pp. 796-815.
- Grossman, G.M. y Helpman, E. (1991). "Quality Ladders in the Theory of Growth", *Review of Economic Studies*, 58, pp. 43-61.
- Howitt, P. (1999). "Steady Endogenous Growth with Population and R&D Inputs Growing", *Journal of Political Economy*, 107, pp. 715-730.
- Jaffe, A.B. (1986). "Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value", *American Economic Review*, 76, pp. 984-1001.
- Jones, C.I. (1995a). "Time Series Tests of Endogenous Growth Models", *Quarterly Journal of Economics*, 110, pp. 495-525.
- Jones, C.I. (1995b). "R&D-Based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 103, pp. 759-784.
- Jones, C.I. (1998). *Introduction to Economic Growth*, New York, W.W. Norton.
- Jones, C.I. (1999). Growth: "With or Without Scale Effects?", *American Economic Review (Papers and Proceedings)*, 89, pp. 139-144.
- Kalmbach, P. y Kurz, H.D. (1990). "Micro-Electronics and Employment: A Dynamic Input-Output Study of the West German Economy", *Structural Change and Economic Dynamics*, 1, pp. 371-386.
- Kortum, S. (1997). "Research, Patenting, and Technological Change", *Econometrica*, 65, pp. 1389-1419.
- Kremer, M. (1993). "Population Growth and Technological Change: One Million B.C to 1990", *Quarterly Journal of Economics*, 106, pp. 450-457.
- Kurz, H.D. y Salvadori, N. (2000). "The Dynamic Leontief Model and the Theory of Endogenous Growth", *Economic Systems Research*, 12, pp. 255-265.
- Leontief, W. (1989). Foreword, *Economic Systems Research*, 1, pp. 3-4.



- Leontief, W. y Duchin, F. (1986). *The Future Impact of Automation on Workers*, New York, Oxford University Press.
- Lewis, W.A. (1954). "Economic Development with Unlimited Supplies of Labor", *Manchester School of Economics and Social Studies*, 22, pp. 139-191.
- Los, B. (1999). *The Impact of Research and Development on Economic Growth and Structural Change*, tesis de doctorado, University of Twente, Enschede, Países Bajos.
- Los, B. y Verspagen, B. (1999). *Technology Spillovers in an Interindustry Growth Model with North-South Trade*, documento de trabajo, University of Groningen/Eindhoven University of Technology, Países Bajos.
- Mohnen, P. (1994). "The Econometric Approach to R&D Externalities", *Working Paper 9408*, Université de Québec à Montreal, Canadá.
- Nadiri, M.I. (1993). "Innovations and Technological Spillovers", *NBER Working Paper 4423*, NBER, Cambridge, MA.
- Oosterhaven, J. (1988). "On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model", *Journal of Regional Science*, 28, pp. 203-217.
- Papadas, C.T. y Dahl, D.C. (1999). "Supply-Driven Input-Output Multipliers", *Journal of Agricultural Economics*, 50, pp. 269-285.
- Pasinetti, L.L. (1981). *Structural Change and Economic Growth*, Cambridge, RU, Cambridge University Press.
- Peretto, P. y Smulders, S. (1998). "Specialization, Knowledge Dilution, and Scale Effects in an IO-Based Growth Model", *Center Discussion Paper 9802*, Tilburg University, Países Bajos.
- Romer, P.M. (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, 94, pp. 1002-1037.
- Romer, P.M. (1990). "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 98, pp. S71-S102.
- Rose, A.Z. y Casler, S.D. (1996). "Input-Output Structural Decomposition Analysis: A Critical Appraisal", *Economic Systems Research*, 8, pp. 33-62.
- Sawyer, J.A. (1992). "Forecasting with Input-Output Matrices: Are the Coefficients Stationary?", *Economic Systems Research*, 4, pp. 325-347.
- Scherer, F.M. (1982). "Inter-Industry Technology Flows and Productivity Measurement", *Review of Economics and Statistics*, 64, pp. 627-634.
- Segerstrom, P. (1998). "Endogenous Growth without Scale Effects", *American Economic Review*, 88, pp. 1290-1310.
- Solow, R.M. (1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 70, pp. 65-94.
- Ten Raa, T. y Mohnen, P. (1994). "Neoclassical Input-Output Analysis", *Regional Science and Urban Economics*, 24, pp. 135-158.
- Terleckyj, N.E. (1974). *Effects of R&D on the Productivity Growth of Industries: An Exploratory Study*, Washington DC, National Planning Association.
- Van Meijl, H. (1995). *Endogenous Technological Change: The Case of Information Technology*, tesis de doctorado, University of Limburg, Maastricht, Países Bajos.
- Verspagen, B. (1992). "Endogenous Innovation in Neoclassical Growth Models: A Survey", *Journal of Macroeconomics*, 14, pp. 631-662.
- Verspagen, B. (1993). *Uneven Growth between Interdependent Economies*, Aldershot RU, Avebury.
- Verspagen, B. (1997). "Measuring Intersectoral Technology Spillovers: Estimates from the European and U.S. Patent Office Databases", *Economic Systems Research*, 9, pp. 47-65.
- Verspagen, B. (1999). "Evolutionary Macroeconomics: What Schumpeter(ians) Can Learn from Kaldor(ians)", mimeo, ECIS, Eindhoven University of Technology.
- Wolff, E.N. y Nadiri, M.I. (1993). "Spillover Effects, Linkage Structure and Research and Development", *Structural Change and Economic Dynamics*, 4, pp. 315-331.
- Young, A. (1998). "Growth without Scale Effects", 106, pp. 41-63.

Apéndice

Este apéndice contiene los valores que se la asignaron a los parámetros utilizados en la corrida de *benchmark*. Los resultados de su simulación se presentan en el texto. Además, se documenta la configuración de la variable inicial

que se utilizó a lo largo de todo el análisis de simulación. Las matrices se presentan de la forma acostumbrada: las hileras denotan las industrias que entregan, las columnas a las industrias que reciben.

a. Valores asignados a los parámetros en la configuración benchmark

b. Valores iniciales para todas las simulaciones reportadas

| | | | |
|-------|---------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.05 | δ {tasa de descuento de consumo} | 1137.0 | I^{sup} {oferta de fuerza de trabajo} |
| 0.00 | v {tasa de crecimiento de oferta de fuerza de trabajo} | 1137.0 | c {nivel de consumo} |
| 0.005 | σ {tamaño de la innovación} | 0.300 0.380 0.394 | I_c^P {necesidades de fuerza de trabajo (para la producción) por unidad de producto} |
| 1.0 | ω {tasa de salario nominal} | | |
| 80.0 | γ {"efectos productivos de la propia I-D"} | 0.4 | A {necesidad de insumos intermedios (para la producción) por unidades de producto} |
| 30.0 | | 0.1 | |
| 12.0 | | 0.1 | |
| 0.8 | α {"reducción de rendimientos I-D"} | 1.0 | Z_c^R {necesidad de materiales (para I-D) por unidad de fuerza de trabajo en I-D} |
| 0.4 | | 0.0 | |
| 0.2 | | 0.0 | |
| 0.0 | η {"efectos productivos de la difusión de conocimiento"} | 50.0 | Z_s^R {materiales utilizados en actividades de I-D} |
| 12.0 | | 10.0 | |
| 10.0 | | 3.0 | |
| 0.0 | | 0.0 | p {precios} |
| 0.0 | | 0.0 | |
| 15.0 | | 0.0 | |
| 0.0 | θ {razones I-D - ventas} | 0.0 | I_s^R {fuerza de trabajo empleada en I-D} |
| 0.0 | | 0.0 | |
| 0.0 | | 0.0 | |
| 0.100 | b^* {"participaciones asintóticas en el consumo"} | 1.0 | x {niveles de producto} |
| 0.020 | | 1.0 | |
| 0.006 | | 1.0 | |
| 0.200 | T {ajuste en la composición del consumo} | 50.0 | b {participaciones en el consumo} |
| 0.200 | | 10.0 | |
| 0.600 | | 3.0 | |
| 0.000 | 0.001 | 1000.0 | |
| 0.001 | | 1000.0 | |
| 0.001 | | 1000.0 | |
| 0.001 | 0.001 | 0.296 | |
| 0.001 | | 0.352 | |
| 0.001 | | 0.352 | |

