

DOCUMENTO DE TRABAJO No. 1

NOTA TÉCNICA SOBRE LA MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD



Comisión
Nacional de
Productividad

Julio de 2016

MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

COMISIÓN NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD

Julio 2016

Resumen

La presente nota técnica realiza una revisión general de la literatura sobre las diferentes metodologías utilizadas para la estimación de medidas de productividad.

INTRODUCCIÓN

En la literatura existen distintas medidas para medir productividad, tanto a nivel agregado como a nivel de la firma. El objetivo de esta nota técnica es describir de manera general algunas de las medidas comúnmente utilizadas, presentando las debilidades y fortalezas de las mismas. Para ello se debe tener en consideración la interpretación que se le puede dar a cada una de éstas medidas. Prueba de ello son los distintos objetivos para los cuales la medición de productividad es utilizada: (i.) Cambio tecnológico; (ii.) Eficiencia; (iii.) Reducción de costos; (iv.) Comparación de procesos productivos; (v.) Bienestar económico.

Otro punto relevante a considerar para el análisis tiene que ver con la información que se dispone. Muchas veces resulta que la información es la principal restricción para hacer un análisis más detallado sobre productividad. De ahí que se puede observar que a través del tiempo la literatura ha ido estudiando la productividad desde medidas agregadas (economía o sectores) hacia medidas más desagregadas utilizando para ello información a nivel de firmas.

En general las medidas de productividad se pueden catalogar en medidas de productividad (parcial) de un solo factor (relación entre medidas de *output* y un factor productivo), y en medidas de productividad (multifactorial) de varios factores (relación entre medidas de *output* y un conjunto de factores productivos). Otra distinción que se debe considerar, en especial cuando se está trabajando a nivel de firma, tiene que ver con la medida asociada al *output*. Específicamente, las medidas de productividad que utilizan la producción bruta o el valor agregado. La Tabla 1 muestra de manera resumida dichas medidas.

Tabla 1. Medidas de Productividad*

Output	Trabajo	Capital	Capital y Trabajo	Capital, Trabajo e Insumos Intermedios
Producto Bruto	Y/L	Y/K	$Y/F(K, L)$	$Y/F(K, L, M)$
Valor Agregado	VA/L	VA/K	$VA/F(K, L)$	$VA/F(K, L, M)$

* $F(K,L)$ como $F(K,L,M)$ representan funciones de producción. Donde M representa factores productivos tales como energía, materiales y servicios.

De la Tabla 1 podemos concluir que las medidas de productividad están estrechamente relacionadas. Por ejemplo, entre las fuerzas que explican las variaciones de la productividad parcial de la mano de obra (Y/L) y del capital (Y/K) debe estar la productividad multifactorial (economías de escala, eficiencia, cambios tecnológicos, etc.). Esta y otras relaciones se determinan a través de un marco teórico. Por ejemplo, a partir de la teoría de la firma.

Una vez definido el marco teórico existen distintas metodologías que se pueden utilizar para medir la productividad. Por un lado están las metodologías del tipo paramétrico, las que a partir de técnicas estadísticas estiman los parámetros asociados a productividad que están definidos por el marco teórico. Por otro lado, está el grupo de metodologías del tipo no-paramétrico las cuales hacen uso de índices para la construcción de series de productividad. La norma general que uno puede observar a partir de la revisión bibliográfica es que tanto las medidas paramétricas como no-paramétricas utilizan el marco teórico de la firma.

En el contexto paramétrico distintos marcos teóricos han sido utilizados. Por ejemplo, modelos que consideran relevante la existencia correlación entre *shocks* productivos y el uso de factores,¹ como otros

¹Estos modelos analizan la influencia de los *shocks* de productividad, tanto presente como pasados, sobre los niveles

donde se considera la capacidad utilizada de los factores.² También hay modelos que no consideran a priori ningún tipo de retorno de escala, ni imponen niveles de competencia tanto en el mercado de los bienes finales como en el de los insumos. Sin embargo, considerando los requerimientos de este tipo de metodologías, se puede afirmar que la elección del marco teórico está estrechamente relacionado con la disponibilidad y calidad de los datos. En general este tipo de herramientas de medición termina siendo utilizada más en el mundo académico.

Por otro lado, por ser de más fácil cómputo la metodología no-paramétrica tiende a ser más utilizada en el ámbito público como privado. El costo de esta metodología está en imponer demasiados supuestos sobre el marco teórico utilizado. Entre ellos, suponer competencia perfecta en los distintos mercados, como también en el tipo de economías de escala. Ello implica tener (posiblemente) medidas sesgadas de productividad.

A continuación (y a modo de resumen) se menciona el uso y la interpretación que se le dan a las medidas de productividad más utilizadas tanto en los ámbitos públicos como académicos:

- (i) **La productividad laboral** es una medida relevante en el ámbito público y privado, y además de fácil uso. Tiende a ser utilizada como una medida de bienestar. Sin embargo, no es una medida muy adecuada para medir la capacidad productiva de los trabajadores. Este índice refleja el grado de eficiencia que tiene la mano de obra al combinarse con los demás insumos, como también cuán rápido un cambio tecnológico es adoptado.
- (ii) **La productividad multifactorial** permite desagregar de manera directa la contribución de cada

actuales de los factores productivos. Ver, por ejemplo, Bond y Söderbom (2005).

²Considerando, por un lado, que las ventas de las empresas responden a cambios en la demanda, y por otro lado, que la capacidad de poder ajustarse de manera inmediata a dichos cambios es reducida, entonces resulta necesario introducir al análisis el hecho que la capacidad de utilización de ciertos factores se ve afectado por los ciclos que enfrenta la firma (o la economía). Para más detalles ver Morrison (2012).

uno de los factores que explican el crecimiento. Permite analizar patrones pasados de crecimiento y proyectar capacidades futuras de crecimiento. Sin embargo, hay que considerar que no todo cambio tecnológico se traduce en un incremento en la productividad multifactorial. Por un lado existen cambios tecnológicos que afectan directamente el rendimiento específico de un factor, mientras que por otro lado hay cambios tecnológicos que afectan a todos los factores en igual proporción. Estos últimos son los considerados por esta medida.

MEDICIÓN NO-PARAMÉTRICA DE LA PRODUCTIVIDAD

INDICES DE FISCHER Y DE TÖRNQVIST-THEIL

En este caso la medición de la productividad se mide en función de un índice de producción y un índice de factores. La revisión bibliográfica indica que, bajo una cantidad de criterios axiomáticos desarrollados por la teoría de números índices, los índices de Fischer y de Törnqvist-Theil son los que presentan mejores propiedades. Las expresiones de estos índices son:

$$I_{s,t}^F = (I_{s,t}^L \cdot I_{s,t}^P)^{1/2} \quad (1)$$

$$I_{s,t}^T = \prod_{i=1}^n \left(\frac{Y_{is}}{Y_{it}} \right)^{\frac{1}{2}(w_{is}+w_{it})} \quad (2)$$

donde el índice de Fischer entre s y t $-I_{s,t}^F-$ se obtiene del promedio geométrico de otros dos índices, $I_{s,t}^L$ y $I_{s,t}^P$.³ Por otro lado, el índice de Törnqvist-Theil es un promedio geométrico ponderado del cociente de la variable de interés entre s y t .⁴ Coelli et al. (2005) también señalan que el hecho de ocupar estos

³Estos son los índices entre s y t de Laspeyres $I_{s,t}^L$ y Paasche $I_{s,t}^P$.

⁴Donde n representa los subcomponentes del índice. Por ejemplo, si es producción, n representa el número de bienes producidos. Y si es factor, entonces n representa los distintos factores productivos. Por otro lado, bajo ciertos supuestos del marco teórico, los ponderadores representan el peso de la variable con respecto al total. Por ejemplo, si es un factor

índices bajo el principio de encadenamiento⁵ entrega buenas aproximaciones sobre los cambios que se desean analizar.⁶

Siguiendo a Jorgenson y Griliches (1972) tenemos que el índice para medir la productividad multifactorial termina siendo,

$$PTF_{st} = \frac{Q_{s,t}^T}{X_{s,t}^T} \quad (3)$$

Es decir, el índice de productividad definido en (3) es la razón entre un índice de *output* y un índice de *input*. Por ejemplo, considerando el uso del índice de Törnqvist-Theil supongamos que s y t representan dos firmas. Para la firma s el costo relativo de la mano de obra es 44% (y por consiguiente 56% para el capital) y para la firma t es 75%.⁷ Además consideremos que ambas firmas producen la misma cantidad. Sin embargo estas se diferencian en que la firma s utiliza 2 unidades de mano de obra y 2 unidades de capital, mientras que la firma t utiliza 4 unidades de mano de obra y 1 unidad de capital. Por tanto, tenemos que:

$$\begin{aligned} \ln Q_{s,t}^T &= 0 \\ \ln X_{s,t}^T &= \frac{1}{2}(0.44 + 0.75)(\ln(2) - \ln(4)) + \frac{1}{2}(0.56 + 0.25)(\ln(2) - \ln(1)) = -0.13 \\ \Rightarrow \ln PTF_{st} &= 0.13 \Rightarrow PTF_{st} = 1.1389 \end{aligned}$$

Es decir, de este ejemplo se concluye que la firma s resulta ser un 14% (aproximadamente) más productiva productivo, el ponderador resulta ser la proporción del costo de dicho factor. Si la variable en cuestión es producción, entonces el ponderador representa la proporción de las ventas.

⁵Es decir, se hace uso del orden natural de las cosas. Entonces, el índice para el período t debe tener como período base el período $t - 1$.

⁶Sin embargo, una comparación temporal entre países, sectores o industrias no necesariamente presenta esta misma propiedad.

⁷Notemos que en dicho cálculo se está imponiendo supuestos sobre como se determinan los costos de los insumos. Específicamente se impone el supuesto de competencia perfecta en el mercado de los insumos.

que la firma t .⁸

Si bien las propiedades axiomáticas propuestas inicialmente por Fischer en 1929 determinan la idoneidad del uso tanto del índice de Fischer como el de Törnqvist-Theil, Diewert (1976) añade dos propiedades más a dicha lista. La primera propiedad dice que si el índice puede ser derivado de una función de utilidad, costos, producción, ingresos, etc., entonces se dice que dicho índice es “exacto”. Además, como segunda propiedad, si dicha forma funcional subyacente se dice flexible,⁹ entonces el índice exacto se define ahora como índice “superlativo”.¹⁰ Por ejemplo, el índice de Törnqvist-Theil es superlativo en el sentido que puede ser derivado de una función del tipo Transcendental Logarítmica (desde ahora TransLog). De esta manera, si se asume la forma funcional TransLog como una aproximación a una función de producción/costos, el índice de Törnqvist-Theil provee una formulación exacta para los índices de *inputs* y *outputs*. Y por tanto, cualquier obtención de medida de productividad mediante esta metodología no solo satisface las propiedades axiomáticas, sino también guarda relación con fundamentos del marco teórico económico.

Cabe señalar que la gran mayoría de los estudios de productividad, en particular los asociados a medidas agregadas, utilizan esta técnica. Por ejemplo, el trabajo pionero de Solow (1957), partiendo de estimaciones previas sobre el peso relativo de cada uno de los insumos en el producto interno bruto de Estados Unidos, pudo descomponer la tasa de crecimiento del producto en los factores capital y trabajo más el término que actualmente denominamos residuo de Solow.¹¹

⁸Los sub-índices también se pueden entender como períodos mas que firmas distintas.

⁹En el sentido que provee una aproximación de segundo orden a una forma funcional arbitraria.

¹⁰Específicamente, el índice superlativo fue desarrollado por la teoría de número de índices con el objeto de acercar dicha teoría al contexto económico.

¹¹Productividad multifactorial o productividad total de factores.

INDICE DE PRODUCTIVIDAD DE MALMQUIST

El índice de productividad Malmquist fue propuesto por Caves, Christensen y Diewert (1982) inspirados en el trabajo desarrollado por Malmquist (1953). Desde entonces este índice ha evolucionado a través de propuestas como las de Färe et al. (1992) y (1994), que han permitido un análisis más detallado de la productividad. Este índice requiere el cálculo de funciones de distancia, entre el valor efectivo y el potencial, lo cual se lleva a cabo, por lo general, con el método de análisis envolvente de datos,¹² el cual consiste en la construcción de una frontera tecnológica con las unidades productivas que tienen las mejores prácticas en relación con las otras unidades. Esta frontera permite definir medidas de productividad mediante el cálculo de las distancias entre cada unidad productiva y dicha frontera.

El marco teórico consiste en definir $x^t \in \mathbb{R}_+^N$ y $y^t \in \mathbb{R}_+^M$ como los vectores de factores productivos y de producción para $t = 1, \dots, T$, respectivamente. El grafo de la tecnología de producción en t se define como,

$$\Gamma^t = \{ \{x^t, y^t\} : x^t \text{ puede producir } y^t \} \quad (4)$$

Entonces, se define el conjunto de posibilidades de producción en t como,

$$P^t(x^t) = \{y^t : \{x^t, y^t\} \in \Gamma^t\} \quad (5)$$

Para medir la eficiencia durante el período t se utiliza la siguiente métrica,

$$D^t(x^t, y^t) = \min \{ \theta \in \mathbb{R}_{++} : (y^t/\theta) \in P^t(x^t) \} \quad (6)$$

por tanto, si y^t se encuentra en la frontera de producción se tiene que $D^t(x^t, y^t) = 1$, cualquier otro caso implica $0 < D^t(x^t, y^t) < 1$. A su vez, se definen las medidas de eficiencia comparativa,

$$D^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = \min \{ \theta \in \mathbb{R}_+ : (y^{t+1}/\theta) \in P^t(x^{t+1}) \} \quad (7)$$

$$D^{t+1}(x^t, y^t) = \min \{ \theta \in \mathbb{R}_+ : (y^t/\theta) \in P^{t+1}(x^t) \} \quad (8)$$

¹²DEA en su sigla en inglés. Ver Charnes, Cooper y Rhodes (1978) entre otros.

De (6), (7) y (8), se pueden obtener los siguientes índices de productividad de Malmquist:

(i) Índice de productividad de Malmquist para el período t ,

$$\begin{aligned} M^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) &= \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \\ &= \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \end{aligned} \quad (9)$$

Notemos que el primer componente de (9) refleja el cambio en la eficiencia tecnológica, mientras que el segundo término refleja el cambio tecnológico en base $t + 1$.

(ii) Índice de productividad de Malmquist para el período $t + 1$,

$$\begin{aligned} M^{t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) &= \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \\ &= \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \end{aligned} \quad (10)$$

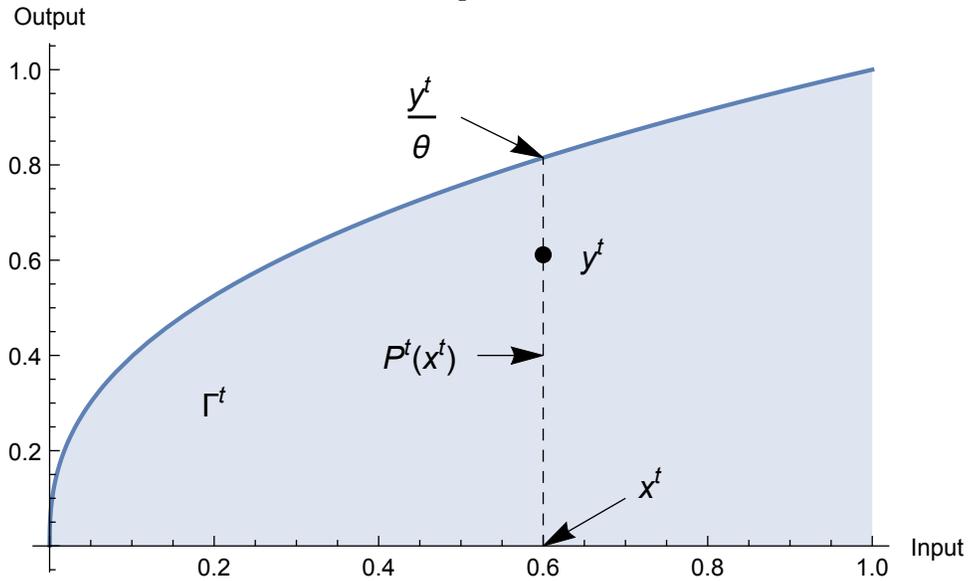
Análogamente tenemos que el primer componente de (10) refleja el cambio en la eficiencia tecnológica, mientras que el segundo término refleja cambio tecnológico en base t .

(iii) Índice de productividad de Malmquist de media geométrica,

$$M^G(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left(\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{1/2} \quad (11)$$

Notemos que para toda medida (i), (ii), o (iii), si el valor de la medida resulta ser mayor a 1, se dice que hay un cambio productivo positivo; mientras que si el valor es exactamente 1, se dice que dicho cambio productivo es nulo. Finalmente, si el valor de la medida es inferior a 1, dicho cambio productivo se considera negativo. La Figura 1 presenta un ejemplo simplificado para el caso de un insumo y producto.

Figura 1.



Cabe mencionar que Grifell-Tatjé y Lovell (1995) demuestran que este índice deja de medir apropiadamente cambios en productividad ante la no existencia de retornos constantes a escala. Es más, el grado de sesgo que tiene la medida depende de la magnitud del rendimiento de escala.

MEDICIÓN PARAMÉTRICA DE LA PRODUCTIVIDAD

MARCO CONCEPTUAL

Comúnmente la literatura que busca medir productividad mediante técnicas paramétricas parte considerando una función de producción del tipo Cobb-Douglas,¹³

$$Y_{it} = A_{it} (H_{it})^{\alpha} (K_{it})^{\beta} (M_{it})^{\gamma} \quad (12)$$

¹³En algunos casos se opta por utilizar una expresión más general como TransLog.

donde Y_{it} representa la producción real de la firma i en el período t ; H_{it} , K_{it} y M_{it} son el nivel de capital humano,¹⁴ capital físico, e insumos intermedios, respectivamente. Mientras que A_{it} se entiende como el nivel de productividad multifactorial *Hicks Neutral* para la firma i durante el periodo t . Los parámetros α , β y γ representan la elasticidad producto de cada uno de los factores para la firma i durante el período t . Cabe señalar que, mientras las variables de producción y factores productivos pueden ser observadas,¹⁵ este no es el caso ni de la productividad multifactorial ni de las elasticidades.

Al aplicar logaritmo natural sobre (12) tenemos la siguiente expresión,

$$y_{it} = a_{it} + \alpha h_{it} + \beta k_{it} + \gamma m_{it} \quad (13)$$

Sin pérdida de generalidad se puede considerar que $a_{it} = \omega_{it} + \epsilon_{it}$, con ω_{it} siendo una medida de productividad multifactorial de la firma i en el período t ,¹⁶ y ϵ_{it} siendo una variable aleatoria que proviene de una cierta distribución la cual puede considerarse una medida de error o un shock productivo no predecible. Entonces (13) pasa a ser,

$$y_{it} = \alpha h_{it} + \beta k_{it} + \gamma m_{it} + \omega_{it} + \epsilon_{it} \quad (14)$$

Considerando el uso de datos de panel tenemos que mediante distintas metodologías se puede estimar indirectamente el valor de ω_{it} ,

$$\hat{\omega}_{it} = y_{it} - \hat{\alpha} h_{it} - \hat{\beta} k_{it} - \hat{\gamma} m_{it} \quad (15)$$

De (15) se puede obtener una estimación del nivel de productividad $\hat{A}_{it} = \exp(\hat{\omega}_{it})$. Ambas estimaciones, tanto de tasa como de nivel de productividad, pueden estar correlacionadas con variables de política.¹⁷ La inferencia que se puede hacer respecto a la distribución de $\{\hat{A}_{it}\}_{(i,t) \in N \times T}$ es robusta bajo los supuestos

¹⁴Generalmente medido en horas o en nivel de empleo.

¹⁵En algunos casos en términos nominales y no reales, e incluso con grados de error debido al grado de utilización.

¹⁶Este término es identificado mediante el supuesto que dicha variable de estado es determinada ex-ante por la firma mediante decisiones pasadas. Ver Olley y Pakes (1996).

¹⁷Ver Fuentes, Larraín y Schmidt-Hebbel, (2004).

del marco teórico, y por tanto, también una buena aproximación a la productividad de la industria. Por ejemplo, cambios en las covarianzas entre distintos períodos se puede asociar a cambios en la distribución de la participación de mercado.¹⁸

PROBLEMAS METODOLÓGICOS

En la literatura el sesgo de selección está entre los problemas más comunes al momento de medir productividad a nivel de la firma. Esto se debe exclusivamente a la utilización de información de firmas que han estado activas durante el período de análisis. Es decir, se trabaja con un panel balanceado. Ello implica dejar de lado una parte de la muestra de firmas que, ya sea, han salido durante el período análisis, como también han entrado. Ello implica (potencialmente) tener sesgo (hacia bajo) en el parámetro asociado al capital. Entre los algoritmos que se utilizan para corregir éste posible problema el más conocido y utilizado es el de Olley y Pakes (1996).

Otro problema recurrente al momento de estimar productividad a nivel de la firma tiene que ver con la endogeneidad entre la productividad y la decisión de uso de los factores, en especial el del capital. Si bien existen métodos que pueden ser utilizados para tratar temas de heterogeneidad como endogeneidad,¹⁹ se considera que los algoritmos de estimación propuestos por Olley y Pakes (1996) como de Levinsohn y Petrin (2003) son capaces de entregar una solución más adecuada a este problema.

Otra dificultad común tiene que ver con el sesgo asociado a la omisión del precio del bien final. Esto se debe a que, por un lado, generalmente se trabaja con valores nominales (ventas) antes que valores reales (cantidades), y por otro lado, también se trabajan con deflatores a nivel industria o sector y no a nivel de firma. Por tanto, en la ausencia de información respecto a nivel de precios de la firma tenemos que al

¹⁸Esto considerando el supuesto que a mayor productividad una firma es más competitiva, y por tanto, es capaz de obtener una mayor proporción del mercado.

¹⁹Ver Wooldridge (2005) sobre métodos de efecto fijos y variables instrumentales.

deflactar por un nivel de precios de la industria la ecuación (14) pasa a ser,

$$\begin{aligned}\tilde{r}_{it} &= p_{it} + y_{it} - \bar{p}_{It} \\ &= \alpha h_{it} + \beta k_{it} + \gamma m_{it} + (p_{it} - \bar{p}_{It}) + \omega_{it} + \epsilon_{it}\end{aligned}\quad (16)$$

donde p_{it} y \bar{p}_{It} son los niveles de precio de la firma y de la industria, respectivamente. Por tanto, considerando por un lado la relación entre los factores y la producción, y por otro lado, la relación entre la producción y el precio de venta, posiblemente se tendrá que $E[x_{it}(p_{it} - \bar{p}_{It})] \neq 0$.²⁰ Es decir, existiría una correlación entre los factores (al menos variables) y el precio de venta. Ello implica la generación de sesgo en los parámetros asociados a dichos factores.²¹ Una forma simple de solucionar el problema es a través del uso de variables reales. Sin embargo, son pocos los casos donde existe información de producción real a nivel de la firma. Alternativamente existen otras propuesta relacionadas con incluir la función de demanda del producto final al problema.²²

Un problema equivalente al caso anterior tiene que ver con el sesgo que se genera el omitir los precios de los factores. Al igual que antes tenemos que mucha de la información que se dispone a nivel de la firma está en términos nominales, en especial capital e insumos intermedios. Por tanto, análogamente al problema anterior, tenemos que la ecuación (14) pasa a ser,

$$y_{it} = \alpha h_{it} + \beta \left(k_{it} + p_{it}^k - \bar{p}_{It}^k \right) + \gamma \left(m_{it} + p_{it}^m - \bar{p}_{It}^m \right) + \omega_{it} + u_{it}\quad (17)$$

donde p_{it}^k y p_{it}^m son los niveles de precios de los factores a nivel de firma, mientras que \bar{p}_{It}^k y \bar{p}_{It}^m son los niveles de precios de dichos a factores a nivel de la industria. Si bien, autores como Eslava et. al (2004) y Ornaghi (2006) han tratado el tema, aún no existe una metodología clara que resuelva el problema.

Otro tema relevante para el análisis de estimación tiene que ver con la intensidad de uso efectiva de ciertos factores, la cual depende generalmente de la coyuntura económica. Esto resulta ser particularmente

²⁰Con $E(\cdot)$ siendo el operador de expectativa y $x_{it} \in \{h_{it}, k_{it}, m_{it}\}$.

²¹De Loecker (2007) encuentra que dichos sesgos son a la baja en el caso de mano de obra e insumos intermedios.

²²Ver Klette y Griliches (1996) y Melitz (2003), entre otros.

relevante para el caso del capital físico considerando las restricciones de corto plazo que enfrenta. Entre las propuestas asociadas a dicha corrección está el uso de la tasa de desempleo, como también la utilización del consumo de energía como variable proxy,²³ y también la utilización de distintos filtros que capturan los ciclos económicos.

Además de dichas correcciones también resulta relevante para el análisis poder corregir las series de los factores por la calidad de estos. En este sentido la literatura parte de la base que los precios relativos de los factores deben reflejar en gran medida la calidad de estos. Respecto a la calidad del capital físico existen distintas propuestas a considerar, por ejemplo, Jorgenson y Griliches (1967) proponen un promedio ponderado de la inversión en equipos y activos fijos (edificios), donde las ponderaciones reflejan las tasas relativas de arriendo de dichas inversiones. Greenwood y Jovanovic (2001) proponen realizar una corrección mediante el uso de la evolución de los precios de la inversión. Para el caso del capital humano las correcciones comúnmente utilizadas tienen que ver con el uso del promedio de escolaridad de los trabajadores.²⁴ Jorgenson y Griliches (1967) proponen ponderar los diferente tipos de trabajos por los salarios relativos.

MARCO TEÓRICO

Desde el punto de vista del marco teórico existen varias hipótesis que se pueden evaluar y que van en la dirección de obtener no solo una medida insesgada de productividad, sino también una correcta descomposición de esta. Por ejemplo, siguiendo la literatura de Hall et al 1986, como Hall (1988, 1990) –entre otros– se puede considerar evaluar la existencia (o no) de imperfecciones de mercado en los bienes finales, como también retornos constante de escala. Para ello, primero que todo, hay que considerar que los parámetros α , β y γ son las elasticidades producto respecto a cada uno de los factores, y por tanto, tenemos que los retornos de escala se definen como $\lambda = \alpha + \beta + \gamma$. Por otro lado, considerando el supuesto

²³Para más detalle se puede ver Fuentes, Larraín y Schmidt-Hebbel (2004).

²⁴Haciendo uso del retorno a la educación a partir de la ecuación de Mincer estratificada por años de escolaridad. Ver De Gregorio (2005).

de imperfección en el mercado de los bienes finales y al hecho que el nivel de capital físico está fijo en el corto plazo, tenemos que,²⁵

$$\alpha = s^h \mu, \quad (18)$$

$$\gamma = s^m \mu, \quad (19)$$

$$\beta = \lambda - s^h \mu - s^m \mu \quad (20)$$

donde s^j es la proporción del gasto realizado en el factor j respecto a las ventas de la firma, y $\mu = (P/Cmg)$ se entiende como el *mark-up*. Por tanto, considerando por un lado (18), (19) y (20) junto con (14), entonces tenemos que,

$$y_{it} = \mu \Delta x_{it}^{\mu} + \lambda k_{it} + \omega_{it} + \epsilon_{it} \quad (21)$$

donde, $\Delta x_{it}^{\mu} = (s^h(h_{it} - k_{it}) + s^m(m_{it} - k_{it}))$.²⁶ De esto último podemos concluir que la imposición de los supuestos asociados a competencia perfecta en el mercado del bien final como también sobre los retornos a escala pueden resultar en sesgos en la medición de productividad. Para ello notemos que en este contexto la medición estándar de productividad mediante *Growth Accounting* sería,

$$\begin{aligned} SR_{it} &= y_{it} - s^h h_{it} - s^m m_{it} - (1 - s^h - s^m) k_{it} \\ &= (\mu - 1) \Delta x_{it}^{\mu} + (\lambda - 1) k_{it} + \omega_{it} + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (22)$$

donde SR_{it} sería el residuo de Solow. Por tanto, en este caso el residuo se descompone en: (i.) un componente asociado a la imperfección del mercado final (μ); (ii.) otro componente asociado al retorno de escala

²⁵Esto se desprende del problema de optimización de la firma.

²⁶Considerando que probablemente se puede tener el dato para cada firma en el tiempo (no así para μ que no es observado) se puede definir,

$$\Delta x_{it}^{\mu} = \left(s_{i,t}^h (h_{it} - k_{it}) + s_{i,t}^m (m_{it} - k_{it}) \right)$$

presente en la firma (λ); y por último (iii.) un componente asociado a la productividad multifactorial (ω_{it}).

Relajar el supuesto de competencia perfecta en el mercado de los factores también tiene efectos importantes en la descomposición del residuo de Solow. Por ejemplo, tomando el modelo de negociación propuesto por McDonald y Solow (1981) y por Brown y Ashenfelter (1986),²⁷ se puede encontrar otro componente asociado al residuo de Solow. Esto último se obtiene al resolver el siguiente problema de maximización,

$$\max_{(M_{it}, Z_{it}, H_{it}, W_{it})} (M_{it} (Z_{it} - \bar{Z}_{it}))^{\theta_M} (R_{it} - W_{it} H_{it} - Z_{it} M_{it})^{1-\theta_M-\theta_H} (H_{it} (W_{it} - \bar{W}_{it}))^{\theta_H} \quad (23)$$

donde, $\theta_j \in (0, 1)$ refleja el poder de negociación del factor j , con $\theta_M + \theta_H \leq 1$. En este caso la solución viene dada por la derivación del pago de los factores (Z_{it}, W_{it}) y el uso de estos (M_{it}, H_{it}). Donde \bar{Z}_{it} y \bar{W}_{it} se entienden como los salarios competitivos (o de referencia) de dichos factores. Resolviendo lo anterior nos encontraremos con,

$$\alpha = \mu s^h + \frac{\mu \theta_H}{(1 - \theta_M - \theta_H)} (s^h + s^m - 1) \quad (24)$$

$$\gamma = \mu s^m + \frac{\mu \theta_M}{(1 - \theta_M - \theta_H)} (s^h + s^m - 1) \quad (25)$$

Por tanto, considerando los mismos supuestos sobre λ y μ junto con (24) y (25), se tiene que el residuo

²⁷Donde el pago, como también el nivel de uso de los factores variables²⁸ es determinado por el poder de negociación que cada uno de estos agentes tiene sobre la repartición de las rentas de la firma.

de Solow ahora se descompone en los siguientes términos,²⁹

$$\begin{aligned}
SR_{it} &= y_{it} - s^h h_{it} - s^m m_{it} - (1 - s^h - s^m) k_{it} \\
&= (\mu - 1) \Delta x_{it}^{\mu} + (\lambda - 1) k_{it} \\
&\quad + \left(\frac{\mu \theta_H}{1 - \theta_M - \theta_H} \right) \Delta x_{it}^{\theta_H} + \left(\frac{\mu \theta_M}{1 - \theta_M - \theta_H} \right) \Delta x_{it}^{\theta_M} + \omega_{it} + \epsilon_{it}
\end{aligned} \tag{26}$$

Por tanto, al considerar relajar el supuesto sobre economías de escala, como también el grado de competencia en el mercado del bien final como en el de los insumos, se tiene que el residuo de Solow se descompone en: (i.) un componente asociado al *mark-up* (μ); (ii.) un componente asociado a la economía de escala (λ); (iii.) componentes asociados a las participaciones respectivas de los insumos variables sobre las rentas económicas (θ_H, θ_M); y por último (iv.) uno asociado a la productividad multifactorial (ω_{it}).

Cabe mencionar que éste marco teórico asociado al proceso de negociación no es el único, y por tanto, dependiendo de los supuestos con los cuales se trabaja se pueden considerar otros modelos de negociación del tipo *right-to-manage*³⁰ donde el salario es la única variable a negociar, mientras que la decisión de contratar por parte de la firma viene dado posterior al proceso de negociación.

Por otro lado, siguiendo el trabajo de Klette y Griliches (1996), se puede incluir la función de demanda específica de cada firma para tratar el tema de precios del bien final no observados a nivel de la firma. Específicamente,

$$Y_{it} = Y_{It} \left(\frac{p_{it}}{p_{It}} \right)^{-\eta} e^{\nu_{it}} \tag{27}$$

²⁹Donde,

$$\Delta x_{it}^{\theta_H} = (h_{it} - k_{it})(s^h + s^m - 1).$$

$$\Delta x_{it}^{\theta_M} = (m_{it} - k_{it})(s^h + s^m - 1).$$

donde también se puede considerar que s_{it}^h o s_{it}^m , si aplica el caso.

³⁰Ver Oswald (1982), Pencavel (1984, 1985).

donde η es la elasticidad precio de demanda por el bien específico³¹ y ν_{it} es una perturbación específica a la demanda de la firma. Por tanto, considerando el primer término asociado a (16) como los casos anteriores asociados a *mark-up* y mercados no competitivos, tenemos que,

$$\begin{aligned}\tilde{r}_{it} &= y_{it} + p_{it} - p_{It} \\ &= \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \mu \Delta x_{it}^{\mu} + \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \lambda k_{it} + \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \left(\frac{\mu \theta_H}{1-\theta_M-\theta_H}\right) \Delta x_{it}^{\theta_H} \\ &\quad + \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \left(\frac{\mu \theta_M}{1-\theta_M-\theta_H}\right) \Delta x_{it}^{\theta_M} + \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) (\omega_{it} + \epsilon_{it}) + \frac{1}{\eta} y_{It} + \frac{1}{\eta} \nu_{it}\end{aligned}\quad (28)$$

Entonces,

$$\begin{aligned}SR_{it} &= \left(\left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \mu - 1\right) \Delta x_{it}^{\mu} + \left(\left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \lambda - 1\right) k_{it} + \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \left(\frac{\mu \theta_H}{1-\theta_M-\theta_H}\right) \Delta x_{it}^{\theta_H} \\ &\quad + \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \left(\frac{\mu \theta_M}{1-\theta_M-\theta_H}\right) \Delta x_{it}^{\theta_M} + \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) (\omega_{it} + \epsilon_{it}) + \frac{1}{\eta} y_{It} + \frac{1}{\eta} \nu_{it}\end{aligned}\quad (29)$$

Otro aspecto a considerar en el análisis tiene que ver con la incorporación de ineficiencias en el proceso productivo. Específicamente la literatura de Aigner, Lovell, y Schmidt (1977), Meeusen y van de Broeck (1977), como también Battese y Coelli (1988, 1992, 1993, 1995). La idea principal de esta propuesta radica en la introducción de un término de error que no solo considera un ruido blanco sino también un término de ineficiencia. Para ambos términos se realizan ciertos supuestos sobre la distribución. Para el primer caso la literatura tiende a considerar un ruido blanco con media cero y varianza σ^2 . Mientras que para el caso del término asociado a la ineficiencia la literatura considera (entre otras): (i.) distribución

³¹Resume el grado de sustitución dentro de la industria

media normal; (ii.) distribución normal truncada; (iii.) distribución exponencial; o (iv.) distribución gamma, entre otras.

A modo de resumen, la literatura de frontera estocástica plantea como medida de eficiencia técnica la siguiente expresión,

$$TE_{i,t} = \frac{Y_{i,t}}{F(X_{i,t}, \beta)} \quad (30)$$

donde, $Y_{i,t}$ representa el nivel efectivo de producción alcanzado por la firma i en t ; mientras que $F(X_{i,t}, \beta)$ representa la función de producción determinística de la firma i en t , la cual depende de los insumos productivos $X_{i,t} \in \mathbb{R}_+^L$ y de los parámetros -tecnologías si se quiere- resumidos en $\beta \in \mathbb{R}^K$. Esta última expresión representa el nivel de producción eficiente localizado en la frontera de producción. Por tanto $TE_{i,t} \in [0, 1]$, y si $TE_{i,t} = 1$ entonces se dice que la firma es eficiente.

Ahora, considerando que: (i.) $Y_{i,t} = F(X_{i,t}, \beta) \exp\{\omega_{i,t}\} \exp\{\xi_{i,t}\}$, es decir la producción efectiva tiene un componente asociado a *shocks* productivos ($\omega_{i,t}$) y un componente asociado a ineficiencias ($\xi_{i,t}$); y (ii.) que ambos no son observados de manera independiente. Entonces, la estimación del término de ineficiencia termina siendo condicional a los supuestos asociados a la distribución conjunta de $\omega_{i,t}$ y $\xi_{i,t}$,

$$\widehat{TE}_{i,t} = E [\exp\{-\xi_{i,t}\} / \omega_{i,t} - \xi_{i,t}] \quad (31)$$

METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN

Sobre las metodologías que son utilizadas comúnmente en la literatura se puede mencionar que, en términos generales, no existe una capaz de resolver todos los problemas que se pueden enfrentar al momento de estimar la medida de productividad. No obstante aquello, dependiendo de las características

de la base de datos con que se cuenta, puede ser que una metodología supere en desempeño a otra.³²

La metodología de efecto fijo, por ejemplo, puede eliminar el problema de endogeneidad entre el término asociado a productividad y el uso de los insumos.³³ Esto último puede suceder bajo la hipótesis que el uso que se le da a los insumos en la producción está en parte determinado por las características de la firma, incluida su productividad. Más aún, si además se considera que dicho nivel de productividad guarda relación con la determinación de salir o entrar al mercado por parte de la firma, entonces la estimación mediante efecto fijo también sería capaz de eliminar el problema de sesgo de selección. Sin embargo, a pesar de tener estas ventajas, en la práctica esta metodología no parece tener un buen desempeño. Las estimaciones mediante efecto fijo tienden a subestimar la elasticidad producto del capital. Además, Olley y Pakes (1996) realizan estimaciones de este tipo en submuestras tanto balanceadas como no balanceadas encontrando grandes diferencias en los coeficientes.

Una alternativa al problema de endogeneidad termina siendo la utilización de variables instrumentales o su generalización, GMM.³⁴ En el primer caso, los instrumentos deben satisfacer las siguientes condiciones: (i.) los instrumentos necesitan estar correlacionados con el factor en cuestión; (ii.) el instrumento no debe actuar directamente en la función de producción; y (iii.) los instrumentos no deben estar correlacionados con el término de error. Si se trabaja bajo el supuesto de competencia perfecta se tiene que los precios de los insumos y productos resultan ser instrumentos válidos para la estimación.³⁵ Al igual que el método de efecto fijo, el uso de variables instrumentales en estudios empíricos no a presentado un desempeño exitoso, en gran medida esto se debe a la falta de instrumentos válidos que uno puede encontrar en la misma base de datos. También se puede mencionar que, si bien esta metodología puede solucionar el problema de endogeneidad (suponiendo instrumentos válidos), no es capaz de eliminar el problema asociado a sesgo de selección.³⁶ En respuesta a esto, Blundell y Bond (1998) propusieron una extensión a

³²Entiéndase parámetros robustos, consistentes e insesgados.

³³Ver Wooldrige (2005).

³⁴Sus siglas en inglés para Método Generalizado de Momentos.

³⁵Ver Akerberg, Benkard, Berry y Pakes (2007).

³⁶Por ejemplo, si los precios de los insumos son utilizados como instrumentos, puede darse que la determinación de entrar

la metodología de GMM que busca eliminar el problema de instrumentos débiles en la base de datos. Su propuesta consiste en una extensión a la metodología original de GMM³⁷ en la cual se utilizan rezagos de las variables instrumentales en diferencias.

Una de las metodologías comúnmente utilizadas por la literatura para estimar productividad es el algoritmo propuesto por Olley y Pakes (1996). Dicho algoritmo considera explícitamente los problemas de endogeneidad y sesgo de selección. A grandes rasgos este algoritmo representa el proceso de decisión de una firma en un contexto dinámico. En este sentido la firma al inicio de cada período toma la decisión de continuar o salir del mercado. Si sale recibe un pago³⁸ y no vuelve a entrar, mientras que si decide continuar define una canasta de insumos e inversión con el objetivo de maximizar el valor presente de los flujos futuros. Para lograr consistencia son varios los supuestos considerados en esta metodología. Primero, el modelo considera que existe una única variable de estado, la productividad. Segundo, el modelo impone monotonicidad en la variable de inversión para poder invertir la función de demanda por inversión.³⁹ Como consecuencia de esto, solamente se pueden ocupar valores no negativos de inversión.

Mientras que Olley y Pakes (1996) utilizan la decisión de inversión como proxy para la productividad no observada, Levinsohn y Petrin (2003) utilizan los insumos intermedios como proxy. En el primer caso, la condición de monotonicidad implica el uso restrictivo de observaciones positivas de inversión, llevando a la posibilidad de pérdida de eficiencia en la estimación. Por el contrario, la propuesta de Levinsohn y Petrin (2003) permite utilizar un mayor número de observaciones.⁴⁰ Fuera de aquello, las metodologías

o salir dependa en gran medida de dichos precios.

³⁷Ver Hansen (1982).

³⁸Liquida sus activos.

³⁹Esto quiere decir que la inversión es una función creciente en productividad.

⁴⁰Según los autores, existen tres ventajas sobre la propuesta original de Olley y Pakes (1996). La primera hace referencia a que la variable asociada a bienes intermedios (insumos) responde al término entero asociado a productividad, no así la inversión que sólo se considera relacionado al capital que responde a shocks de productividad. Una segunda ventaja tiene que ver con considerar los insumos como variables de control y no estado. Mientras que la tercera ventaja tiene que ver con un sesgo debido a que la variable inversión se considera truncada -en parte debido a los costos de ajustes- y en el caso de los

son bastante similares.⁴¹ En ambos casos, según Akerberg, Caves, y Frazer (2006), la colinealidad entre mano de obra y el polinomio que aproxima el término de productividad puede causar que el coeficiente de estimación asociado a la mano de obra no se pueda identificar. Otra desventaja para ambas metodologías tiene que ver con el supuesto de competencia en los mercados finales como intermedios. Si dicho supuesto no se da, entonces tanto la propuesta de Olley y Pakes como la de Levinsohn y Petrin pierden consistencia. En este sentido De Loecker (2007) propone una extensión de Olley y Pakes para solucionar dicho problema. Sin embargo, para el caso de Levinsohn y Petrin dicha propuesta no es viable.

ROBUSTEZ DE ESTIMACIONES PARAMÉTRICAS Y NO PARAMÉTRICAS⁴²

Considerando lo antes expuesto se puede concluir que, para estimar productividad, tanto en nivel como en tasas, la literatura presenta varias posibilidades metodológicas. Eso sí, cada una de estas presenta fortalezas y debilidades. Esto último implica que, en función del tipo de información, el investigador deberá determinar cuáles de las metodologías le permiten obtener mejores estimaciones. Entiéndase, estimaciones insesgadas, robustas y consistentes. Ello implica tener una noción mínima del desempeño de las distintas metodologías frente a los problemas propios de toda base de datos.

Biesebroek (2007) realiza una serie de simulaciones de montecarlo con el objeto de comparar el desempeño de distintas metodologías, tanto paramétricas como no paramétricas. El desempeño de cada una de las metodologías se evalúa mediante la correlación entre los valores verdaderos del proceso generador de datos y las series estimadas por cada una de las metodologías. Además se evalúa el grado de sesgo y la dirección de este respecto a los valores verdaderos. Para analizar esto el autor introduce en las

insumos dicho problema se evita.

⁴¹La otra distinción que se puede mencionar entre ambas metodologías es que en el caso de Levinsohn y Petrin se excluye la probabilidad de sobrevivencia la cual es utilizada para corregir el sesgo de selección.

⁴²Esta sección se basa en gran medida en el artículo de Van Biesebroek (2007).

simulaciones tres formas distintas de heterogeneidad entre las firmas. Una primera fuente de variación es mediante la introducción de heterogeneidad en el precio del factor mano de obra. Otra fuente de variación fue mediante la incorporación de errores de medición en insumos como producto.⁴³ Y por último, se introduce heterogeneidad en las tecnologías de producción.⁴⁴

Entre las primeras conclusiones que presenta Biesebroek (2007) está que, suponiendo que no existe demasiado error de medición en la base de datos, la estimación de la tasa de crecimiento de la productividad mediante la metodología de índices es consistente. También la estimación de los niveles de productividad presenta un buen desempeño si se considera que las distintas firmas emplean diferentes tecnologías. El autor también hace mención que, para el caso de heterogeneidad en el costo de la mano de obra, los resultados de las estimaciones muestran un alto grado de correlación con los valores de la simulación.

Por otro lado, ante la existencia de heterogeneidad en las tecnologías utilizadas por las firmas, la metodología no paramétrica DEA⁴⁵ resulta ser una buena metodología de estimación del nivel de productividad. Este caso incluiría situaciones donde se tiene un conjunto de firmas de distintos sectores que además puedan estar en distintas etapas de desarrollo, o incluso operando en distintos países con diferentes niveles de desarrollo. También el mismo autor hace mención que esta metodología presenta un buen desempeño cuando las economías de escala no son constante.⁴⁶ Sin embargo, el autor hace hincapié que esta metodología no debiese ser considerada para estimar tasas de crecimiento de la productividad.

⁴³Se trabaja con un único producto.

⁴⁴El desempeño de las distintas metodologías estudiadas en este trabajo tiene que ver con cada una de estas fuentes, la mayoría de las veces por separado. Además, la selección de dichas fuentes de variaciones no es aleatoria. Según el autor, son fuentes recurrentes en las bases de datos. Eso sí, no hace mención a las posibles fuentes que deja de lado en el análisis.

⁴⁵*Data Envelopment Analysis* su sigla en inglés.

⁴⁶Esto último pareciera contradecir lo demostrado por Grifell-Tatjé y Lovell (1995), que esta metodología deja de medir apropiadamente cambios en productividad cuando las economías de escala no son constantes, y que el sesgo de dicha estimación guarda relación con el tipo de economías de escala que uno encuentra.

Dado el problema de simultaneidad entre los insumos y las variables no observadas (productividad), las estimaciones mediante OLS⁴⁷ resultarán sesgadas y no consistenes, y por tanto no es aconsejable utilizar dicha metodología. No obstante aquello, cabe señalar que sus desventajas son menores cuando se trata de estimar tasas de crecimiento de la productividad, más que niveles de la misma. Esto hace sentido si se considera que una estimación simple por efecto fijo presenta mejor desempeño en prácticamente en todas las situaciones analizadas en este trabajo.

Por otro lado, cuando se considera que las diferencias de productividad son constantes a través del tiempo, y además se considera que la medición del *output* es correcta, junto con suponer que las observaciones comparten tecnologías similares, entonces la estimación mediante frontera estocástica resulta ser robusta para el nivel de productividad. Prueba de ello es que las mayores correlaciones que alcanza dicha metodología, son obtenidas cuando la productividad de las firmas es representada por un efecto fijo y con *shocks* transitorios de productividad. No obstante esto último, la correlación respecto a los verdaderos valores cae un 2.5% cuando se introduce mayor persistencia en los *shocks* de productividad.⁴⁸ En todo caso, hay que considerar que dicha metodología es mucho más sensible a las otras, pues parte de la base que existe una distribución mixta entre un ruido blanco y una distribución truncada por la izquierda. En otro trabajo realizado por el mismo autor,⁴⁹ el incorporar dichos supuestos sobre la distribución mejora significativamente el desempeño de esta metodología.

En el caso de la metodología GMM-SYS desarrollada por Blundell y Bond⁵⁰ se concluye que, si las observaciones presentan errores de medida como también algún grado de heterogeneidad tecnológica entre las firmas, entonces esta metodología es capaz de proveer las estimaciones más robustas dentro de las alternativas paramétricas. Ante la ausencia de heterogeneidad, esta metodología entrega los resultados más confiables de todos, si al menos parte de las diferencias de productividad son constantes a través del

⁴⁷ *Ordinary Least Square* su sigla en inglés.

⁴⁸ Específicamente un proceso autoregresivo de orden 1.

⁴⁹ Biesebroeck (2004)

⁵⁰ Ver Blundel y Bond (1998) y (2000).

tiempo.

Por último, respecto a la estimación semi-paramétrica de Olley y Pakes (1996) el autor menciona que en algunos casos esta metodología presenta desempeños bastante buenos, pero sin embargo, no es tan consistente como lo son los índices y GMM-SYS. Específicamente, las estimaciones mediante esta técnica son bastante certeras si el proceso generador de datos no considera la existencia de efectos fijos. Además, si los *shocks* productivos son idiosincráticos y persistentes el desempeño de esta metodología es una de las mejores. La ventaja de dicha técnica respecto a frontera estocástica o GMM-SYS tiende a ser superior cuando la productividad evoluciona de acuerdo a un proceso mucho más general, por ejemplo, si los *shocks* van decayendo a cierta tasa específica de la firma, o si la persistencia varía a través del tiempo. Por lo contrario, si los *shocks* productivos son completamente transitorios y los efectos fijos de las firmas son relevantes. Entonces, las correlaciones que presenta esta metodología son bajas e incluso los sesgos en los parámetros son superiores a los de OLS.

Como conclusión final, cabe señalar que si bien dichos resultados sobre el desempeño de algunas de las metodologías que son comúnmente utilizadas en la estimación de niveles (como tasas de crecimiento) de la productividad, da ciertas luces sobre cuales técnicas corren con ventaja por sobre otras. El trabajo hace mención que las variaciones estudiadas no son las únicas fuentes, como también no se hace cargo de cómo cambian dichos resultados si se comienzan a incorporar estas y otras fuentes. Por tanto, hay que considerar valioso el aporte, pero no hay que tomarlo como una generalización ante todo evento. Prueba de ello es que, yendo a otros temas técnicos, también habría que considerar las restricciones que tienen algunas de las metodologías por la disponibilidad de datos. Por ejemplo, según Jensen et al. (2008), quienes realizan simulaciones para la estimación de datos de panel dinámicos, muestran que el desempeño de las distintas metodologías evaluadas (OLS, LSDV, Hsiao IV, GMM) dependen del grado de persistencia del *shock*, como también el número de observaciones y la cantidad de períodos.

REFERENCIAS

- Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37.
- Akerberg, D., Benkard, C. L., Berry, S., & Pakes, A. (2007). Econometric tools for analyzing market outcomes. *Handbook of econometrics*, 6, 4171-4276.
- Akerberg, D., Caves, K., & Frazer, G. (2006). Structural identification of production functions. MPRA paper, 38349.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1988). Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. *Journal of econometrics*, 38(3), 387-399.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1992). Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India (pp. 149-165). Springer Netherlands.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1993). A stochastic frontier production function incorporating a model for technical inefficiency effects (Vol. 69). Armidale: Department of Econometrics, University of New England.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical economics*, 20(2), 325-332.
- Bond, S., & Söderbom, M. (2005). Adjustment costs and the identification of Cobb Douglas production functions (No. 05/04). IFS Working Papers, Institute for Fiscal Studies (IFS).
- Brown, J. N., & Ashenfelter, O. (1986). Testing the efficiency of employment contracts. *The Journal of Political Economy*, S40-S87.
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of econometrics*, 87(1), 115-143.

Blundell, R., & Bond, S. (2000). GMM estimation with persistent panel data: an application to production functions. *Econometric reviews*, 19(3), 321-340.

Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1393-1414.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.

Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer Science & Business Media.

De Gregorio Rebeco, J. (2005). Crecimiento económico en Chile: evidencia, fuentes y perspectivas. *Estudios Públicos*, (98), 19-86.

De Loecker, J. (2007). Do exports generate higher productivity? Evidence from Slovenia. *Journal of international economics*, 73(1), 69-98.

Eslava, M., Haltiwanger, J., Kugler, A., & Kugler, M. (2004). The effects of structural reforms on productivity and profitability enhancing reallocation: evidence from Colombia. *Journal of Development Economics*, 75(2), 333-371.

Färe, R., & Grosskopf, S. (1992). Malmquist productivity indexes and Fisher ideal indexes. *The Economic Journal*, 102(410), 158-160.

Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B., & Roos, P. (1994). Productivity developments in Swedish hospitals: a Malmquist output index approach. In *Data envelopment analysis: theory, methodology, and applications* (pp. 253-272). Springer Netherlands.

Greenwood, J., & Jovanovic, B. (2001). Accounting for growth. In *New developments in productivity analysis* (pp. 179-224). University of Chicago Press.

- Grifell-Tatjé, E., & Lovell, C. K. (1995). A note on the Malmquist productivity index. *Economics letters*, 47(2), 169-175.
- Hall, R. E., Blanchard, O. J., & Hubbard, R. G. (1986). Market structure and macroeconomic fluctuations. *Brookings papers on economic activity*, 1986(2), 285-338.
- Hall, R. E. (1988). The Relationship Between Price and Marginal Cost in U.S. Industry, *Journal of Political Economy*, 96, pp. 921-947.
- Hall, R.E. (1990). Invariance Properties of Solow's Productivity Residual, P. Diamond (comp.), *Growth, Productivity, Unemployment*, Cambridge, MIT Press, Cambridge.
- Jensen, P. H., Webster, E., & Buddelmeyer, H. (2008). Innovation, Technological Conditions and New Firm Survival*. *Economic Record*, 84(267), 434-448.
- Jorgenson, D. W., & Griliches, Z. (1967). The explanation of productivity change. *The Review of Economic Studies*, 34(3), 249-283.
- Jorgenson, D., & Griliches, Z. (1972). Issues in growth accounting: A reply to Edward F. Denison. *Survey of current Business*, 52(5, Part II).
- Klette, T. J., & Griliches, Z. (1996). The inconsistency of common scale estimators when output prices are unobserved and endogenous. *Journal of Applied Econometrics*, 11(4), 343-361.
- Larraín, M., Fuentes, R., & Hebbel, K. S. (2004). Fuentes del Crecimiento y Comportamiento de la Productividad Total de Factores en Chile. *Documentos de Trabajo (Banco Central de Chile)*, (287), 1.
- Levinsohn, J., & Petrin, A. (2003). Estimating production functions using inputs to control for unobservables. *The Review of Economic Studies*, 70(2), 317-341.
- Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa*, 4(2), 209-242.

McDonald, I. M., & Solow, R. M. (1981). Wage bargaining and employment. *The American Economic Review*, 71(5), 896-908.

Meeusen, W., & Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International economic review*, 435-444.

Melitz, M. J. (2003). The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica*, 71(6), 1695-1725.

Morrison, C. J. (2012). *A microeconomic approach to the measurement of economic performance: Productivity growth, capacity utilization, and related performance indicators*. Springer Science & Business Media.

Olley, G. S., & Pakes, A. (1996). The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry, *Econometrica* 64. 1263-1297.

Ornaghi, C. (2006). Spillovers in product and process innovation: Evidence from manufacturing firms. *International Journal of Industrial Organization*, 24(2), 349-380.

Oswald, A. J. (1982). *Optimal intervention in an economy with trade unions* (No. 221). University of Warwick, Department of Economics.

Pencavel, J. (1984). The Tradeoff Between Wages and Employment in Trade Union Objectives. *The Quarterly Journal of Economics*, Oxford University Press, vol. 99(2), pages 215-231.

Pencavel, J. (1985). Wages and employment under trade unionism: Microeconomic models and macroeconomic applications. *The Scandinavian Journal of Economics*, 197-225.

Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The review of Economics and Statistics*, 312-320.

Van Biesebroeck, J. (2004). Cross-country conversion factors for sectoral productivity comparisons (No. w10279). National Bureau of Economic Research.

Van Biesebroeck, J. (2007). Robustness of productivity estimates. *The Journal of Industrial Economics*, 55(3), 529-569.

Wooldridge, J. M. (2005). Simple solutions to the initial conditions problem in dynamic, nonlinear panel data models with unobserved heterogeneity. *Journal of applied econometrics*, 20(1), 39-54.