

Medición económica de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Colombia a través de la función Cobb Douglas *

Francisco José Montes-Vergara

Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. Economista y profesional en Ciencias Navales, con Magíster en Economía y especialista en Economía del Riesgo y la Información. Asesor económico en la Autoridad Nacional de Televisión. Miembro del grupo Investigación en Gestión y Organizaciones (GRIEGO) de la Universidad Nacional de Colombia.

fjmontesv@unal.edu.co  <https://orcid.org/0000-0003-3270-4961>

Jenny Marcela Sánchez-Torres

Doctora en Economía y Gestión de la Innovación. Magíster en Análisis y Gestión de Ciencia y Tecnología. Magíster en Ingeniería de Sistemas. Ingeniera de Sistemas. Co-directora del grupo Investigación en Gestión y Organizaciones (GRIEGO) de la Universidad Nacional de Colombia. Profesora Titular en el Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia.

jmsanchezt@unal.edu.co  <https://orcid.org/0000-0001-5284-836X>

RESUMEN

El documento tiene por objetivo presentar los resultados de aplicar la función de producción Cobb Douglas para la medición sobre diversos factores productivos, entre ellos las TIC, en un país como Colombia que se encuentra en desarrollo. La revisión literaria contempló modelos de crecimiento económico desde Arrow (1962) hasta Barro y Romer (1990). También el análisis de 249 artículos de la base de datos Scopus comprendidos en el periodo 2001- 2015, para determinar aplicaciones, metodologías, técnicas, externalidades y variables. Se diseñaron bases de datos para aplicar el modelo de crecimiento económico desde Cobb Douglas en el contexto colombiano, con series temporales entre 1998 y el 2015. Se utilizaron métodos econométricos como la metodología de Johansen, pruebas de raíces unitarias y simultaneidad para evaluar las series y su uso desde la conceptualización Cobb Douglas. El trabajo construye bases de datos para medir la relación de las TIC con el producto y otras variables. Los resultados indican que en Colombia sí existen efectos de rendimientos constantes entre las TIC y el producto, se requiere más interés por la información, es indispensable desarrollar el capital humano y optimizar la inversión TIC para alcanzar eficiencia sostenida del sector en la economía.

PALABRAS CLAVE

Crecimiento económico, productividad agregada, producción, series temporales, metodología.

Códigos JEL

047, O41, D24, C32, C32, C87

Economic measurement of the information technologies and communications in Colombia through the Cobb-Douglas function

ABSTRACT

The document aims to present the results of applying the function of Cobb Douglas production for the measurement of various production factors, including ICTs, in a country like Colombia, which is in development. The literature review looked at models of economic growth from Arrow (1962) to Barro and Romer (1990). Also the analysis of 249 Scopus database articles included in the period 2001-2015, to determine applications, methodologies, techniques, externalities and variables. Databases were designed to apply the model of

Recibido: 18/04/2017 Aceptado: 10/06/2017

* <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n2.26222> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: MONTES-VERGARA, Francisco José; SÁNCHEZ-TORRES, Jenny Marcela. Medición económica de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Colombia a través de la función Cobb Douglas. *En: Entramado*. Julio - Diciembre, 2017. vol. 13, no. 2, p. 72-91 <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n2.26222>

economic growth from Cobb Douglas in the Colombian context, with time series between 1998 and 2015. This paper evidence Econometrics methods as the methodology of Johansen, testing of unit roots and simultaneity to evaluate the series and use from the Cobb Douglas conceptualization. The work builds databases to measure the ratio of ICT with the product and other variables. The results indicate that in Colombia there are effects of constant yields between ICT and the product, required more interest in the information, it is essential to develop human capital and optimize ICT investment to achieve sustained efficiency sector in the economy.

KEYWORDS

Economic growth, aggregate productivity, production, time series, methodology.

JEL CLASSIFICATION

O47, O41, D24, C32, C32, C87

Medição econômica das Tecnologias de Informação e Comunicação na Colômbia através da função Cobb Douglas

R E S U M O

O objetivo do documento é apresentar os resultados da aplicação da função de produção de Cobb Douglas para a mensuração de vários fatores produtivos, incluindo as TIC, em um país como a Colômbia que está em desenvolvimento. A revisão literária contemplou modelos de crescimento econômico da Arrow (1962) para Barro e Romer (1990). Também a análise de 249 artigos da base de dados Scopus incluída no período 2001-2015, para determinar aplicações, metodologias, técnicas, externalidades e variáveis. As bases de dados foram concebidas para aplicar o modelo de crescimento econômico de Cobb Douglas no contexto colombiano, com séries temporais entre 1998 e 2015. Métodos econométricos, como a metodologia Johansen, testes de raiz unitária e simultaneidade, foram utilizados para avaliar as séries e é o uso da conceitualização de Cobb Douglas. O trabalho cria bases de dados para medir a relação das TIC com o produto e outras variáveis. Os resultados indicam que na Colômbia há efeitos de retornos constantes entre as TIC e o produto, é necessário mais interesse para a informação, é essencial desenvolver o capital humano e otimizar o investimento em TIC para alcançar a eficiência sustentada do setor na economia.

PALAVRAS-CHAVE

Crescimento econômico, produtividade agregada, produção, séries temporais, metodologia.

CLASSIFICAÇÕES JEL

O47, O41, D24, C32, C32, C87

Introducción

La evolución de los sistemas de producción, como también de los factores productivos, ha generado efectos en la economía en cuanto al volumen de producción. Específicamente, desde mediados de los años 90 es generalizado encontrar en la literatura la mención de la contribución de la inversión en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, TIC, al crecimiento de la productividad en los niveles agregados. Son diversos los trabajos que se han adelantado sobre el particular. Entre los que han tratado el tema se pueden citar: Colecchia, Schreyer, & Colecchia, A. a y Schreyer, (2001); Jorgenson, (2003); Inklaar, O'Mahony, y Timmer, (2005); Shahiduzzaman y Alam, (2014), Wang, (2015); Shahiduzzaman, M., Layton, A., Alam, (2015) y Polák (2016). Sin embargo, la mayor parte de tales estudios han sido realizados en contextos de países desarrollados, como se observa en las revisiones realizadas por Billón-Curras, Lera-López, y Ortiz-Serrano, (2007) y Montes Vergara, (2016).

En el contexto colombiano, desde 1998 el gobierno viene desarrollando un conjunto de programas y políticas orientados al mejoramiento de la calidad de vida y al crecimiento económico del país, a través del uso e inversión en el sector de las TIC (González Zabala, Sánchez Torres, y Holbrook, 2013). De tal forma que se observa una participación incremental del sector de las TIC, en el Producto Interno Bruto la cual, año tras año, ha ido creciendo al pasar del 2,2% en el año 2000 al 3,13% en el 2014 (DANE, 2014). Sin embargo, son pocos los estudios que analizan el impacto de las TIC bien sea en el nivel agregado o en el nivel microeconómico. Se pueden mencionar los trabajos de Fedesarrollo (2011) y de Gallego, Gutiérrez, y Lee (2015). El primero se orientó en la estimación del impacto general de las telecomunicaciones sobre el crecimiento económico y utilizaron un panel de 18 países latinoamericanos en el periodo 1980-2010. Es decir, tuvo un enfoque donde Latinoamérica es el conjunto de referencia y ello es precisamente uno de los riesgos que se

tienen al medir estos impactos, toda vez que la caracterización económica y tecnológica es diferente y distinta entre países. Con respecto a ello se pueden citar diversos estudios: las investigaciones tocan uno y otro aspecto como por ejemplo: el tipo de tecnología, su penetración y pertinencia (Jung, Na, & Yoon, 2013); la integración de las políticas con los sistemas institucionales, macroeconómicas y desarrollos tecnológicos (Inklaar, O'Mahony & Timmer, 2005a); también en la pertinencia del conocimiento y la innovación (Pohjola, 2002), el tamaño del país (Laurson & Meliciani, 2010), el sector económico (Inklaar *et al.*, 2005), el tipo de empresa y su organización, al igual que con el nivel de desarrollo del país (Kauffman, R.a, Kumar, 2008), el monto de las inversiones (Bakhshi, H.a, Larsen, 2005) y tipo de variables usadas dentro de los modelos de medición (Ho, Kauffman, & Liang, 2010). Lo anterior puede generar sesgos de especificación en razón a que los parámetros pueden no ser consistentes por la heterogeneidad entre las economías.

El segundo estudio se enfocó en hacer un análisis transversal al sector manufacturero, recogiendo información de los años 2003 y 2004, con el fin de evaluar el nivel de adopción de las TIC en las empresas y con ese propósito desarrollan un modelo empírico. El estudio se basa en el uso de variables dummies o dicotómicas, como también en categóricas, sin embargo adolece de las pruebas que señalen la estabilidad del modelo. Bien lo indica Gujarati y Porter, (2010):

Al probar la estabilidad estructural mediante la técnica de la variable dicotoma, supusimos que la varianza del error $\text{var}(u_1i) = \text{var}(u_2i) = \sigma^2$, es decir, que las varianzas del error en los dos periodos eran las mismas. También supusimos lo anterior para la prueba de Chow. Si tal supuesto no es válido -es decir, si las varianzas del error en los dos subperiodos son distintas- es muy probable que se hagan deducciones incorrectas. Así, primero debemos verificar la igualdad de las varianzas en el subperiodo, mediante técnicas estadísticas apropiadas.

Lo anterior justifica el interés de comprender la relación de esa inversión en las TIC y la función de producción en el contexto de un país en desarrollo, por lo cual en el marco de la tesis de maestría: "Evaluación del impacto de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones sobre la productividad en Colombia" Montes Vergara (2016), se realizó una investigación orientada a aplicar una de las funciones para estimar ese impacto y así contribuir a presentar las evidencias que corroboren o refuten la contribución de las TIC en la función de productividad en contextos diferentes al de los países desarrollados. En consecuencia, como parte del proceso de la tesis antes mencionada, el objetivo de este artículo es presentar los resultados de aplicar

la función de producción Cobb Douglas para este tipo de mediciones sobre diversos factores productivos, entre ellos las TIC, en un país en desarrollo como Colombia, pero además con la particularidad que Colombia está en proceso de apropiación de las TIC por parte de la población y, como bien se mencionó en el párrafo anterior, viene incrementando la participación del sector TIC en el producto agregado.

I. Método

Para alcanzar el objetivo propuesto se adelantó un estudio exploratorio en el que se establecieron cuatro fases como se detalla a continuación. Asimismo, en esta sección se presentan las principales limitaciones de este estudio.

I.1. Fase 1: Selección de elementos para el análisis de las estadísticas en el contexto colombiano

El objetivo de esta fase fue identificar estudios en otros países comprendidos entre el 2001 y el 2015 e indexados en la base de datos SCOPUS, en el que se identificaron cuáles son sus contextos de aplicación, las metodologías, las técnicas, los factores externos y las variables consideradas. Para identificarlos se utilizaron las siguientes palabras claves: "ICT" OR "information and communication technologies") AND (("economic growth")) AND ("productivity growth")) AND (impact). Como resultado de la aplicación de las mencionadas palabras claves se obtuvieron 31 mil documentos, de los cuales se revisó el texto completo de 249 documentos.

I.2. Fase 2: Construcción de base de datos para aplicación de pruebas en el contexto colombiano

El propósito de esta fase fue determinar las variables que podrían usarse para aplicar las pruebas en el caso colombiano, con base en el marco conceptual construido y la información obtenida de entidades oficiales del sector TIC.

I.3. Fase 3. Propuesta de modelo para aplicar al contexto colombiano

Corresponde en esta parte presentar la estructura del modelo constituido desde la función de producción Cobb Douglas. Con ello, la representación de las variables dentro de la función y de esta forma la visualización del conjunto de elementos que interactúan sobre el producto agregado.

I.4. Fase 4. Aplicación de pruebas a las estadísticas colombianas

Sobre las variables se aplicó la prueba de Dickey-Fuller para poder conocer si son estacionarias (Gujarati y Porter, 2010)

y también la metodología de Johansen, con el fin de saber si están cointegradas (Brooks, 2008). En la prueba (Dickey-Fuller) se verificó que el p-valor fuera significativo.

El procedimiento realizado en el software Eviews, consistió en:

1. Primero se realizó la prueba sin rezagos.
2. Al obtener el resultado se observó en ese momento el p-valor.
3. Si es alto el p-valor (cerca de uno), se encuentra la hipótesis nula (H_0 = la serie no es estacionaria) en la zona de aceptación.
4. Se consideró un nivel de significancia del 5%.
5. Considerado el resultado se procede nuevamente con la prueba, pero con un rezago².
6. Cuando el p-valor obtenido era cero o cercano a cero se rechazó la hipótesis nula.

La metodología de Johansen teóricamente parte de un grupo de variables del orden uno (1) por lo que se supone que están cointegradas. Comprende dos pruebas para determinar el número de vectores de cointegración: La Prueba de la Traza (Trace test) y la prueba del Máximo Valor Propio (Maximum Eigenvalue test). Desde el punto de vista económico un conjunto de variables están cointegradas cuando hay una relación constante en el largo plazo y en esa medida debe existir un equilibrio entre ambas. Es indispensable tener presente que la teoría económica tiene como esencia el equilibrio entre las variables o los agentes (Gujarati y Porter, 2010).

El procedimiento para esta prueba fue:

1. Se corrió el test, considerando un resumen del modelo a obtener observando diferentes posibilidades en cuanto a las características de las series.
2. Se observó cuántos vectores cointegrados había entre las variables.
3. Se miró el resultado del criterio Akaike y el Schwarz.
4. Se plantearon las hipótesis.

$H_0 = r = 0$; No existen vectores de cointegración

$H_1 = r = 1$; Existe un vector de cointegración

- Rechazar H_0 cuando el valor del estadístico la Traza o el Máximo Valor Propio es mayor que el valor crítico seleccionado.
- Aceptar H_0 cuando el valor del estadístico la Traza o el Máximo Valor Propio sea menor que el valor crítico.

Si hay un segundo vector de cointegración las hipótesis es:

$H_0 = r \leq 1$; cuando más existe un vector de cointegración

$H_1 = r = 2$; existe más de un vector de cointegración

5. Se aplicó la prueba de cointegración Johansen.
6. Se observaron cuántos valores propios resultan y su nivel de significancia.
7. Se concluyó sobre el número de vectores cointegrados.

I.5. Limitaciones

El principal insumo para realizar este trabajo sin lugar a dudas es la información, tanto desde el punto de vista teórico como lo relacionado con las estadísticas en Colombia.

No obstante, y conociendo la ruta de trabajo, después de asumir el marco teórico, se encontró que la principal limitación estaba en la información estadística en razón a que no existía una serie estadística entre 1998 y el 2015 que soportara el uso de las metodologías usadas en otros países. Pero de igual manera, al querer aplicar la metodológica conocida en los diferentes trabajos hubo incertidumbre porque se desconocían antecedentes producidos desde Colombia y aplicables a este tipo de trabajos.

También al momento de escoger la metodología de medición se observó que ello era una limitante porque se encontraron diversas formas de medir entre los países. En el caso de Colombia, al iniciar el trabajo se contaba con pocos estudios y por ello no se tuvo una línea base que ayudara a visualizar el inicio de la investigación.

Ante el anterior contexto, igualmente fue una limitante la definición de variables, toda vez que las existentes no presentaban una secuencia en el tiempo. Esto retardó el avance y por tanto se requirió identificar más de una variable y recopilar información consistente entre diferentes entidades, pues para lograr el objetivo de medición de la cointegración y aplicación del modelo, es requerido hacerlo con varias que permitan la aplicación de las pruebas. Esto no solo sucede en Colombia. También la información ha sido el mayor inconveniente existente en el ámbito internacional.

2. Marco conceptual

El propósito de esta sección es presentar el marco conceptual como sustento de los principales modelos sobre crecimiento económico de la escuela neoclásica, así como el contexto teórico de la función Cobb y Douglas (1928) por último, las pruebas econométricas a aplicar.

2.1. Acerca del crecimiento económico

En este aparte se presentarán teorías relacionadas con el crecimiento económico. Solow y Swan (1956) realizaron avances en el campo del crecimiento económico. El aspecto fundamental del modelo Solow y Swan (1956) es la función de producción neoclásica. Suponen el concepto de rendimientos a escala y elasticidad de sustitución entre los factores productivos.

El primer modelo desarrollado, en donde se hizo una aproximación para medir el crecimiento, considerando variables endógenas, fue el modelo "AK". La construcción de este modelo se le atribuye a Rebelo (1991). Desde aquí se considera una función en donde el único factor de producción es el capital con rendimientos constantes a escala. El factor "A" recoge los elementos que pueden afectar la tecnología (Argandoña, Gámez & Mochón 1997).

Un modelo adicional es el que considera el conocimiento como asociado a la práctica (Arrow, 1962). Partiendo de esta premisa, se asume que la experiencia puede aumentar en la medida que lo haga la inversión. Es importante tener presente que el desarrollo de este modelo parte de la existencia de las familias como unidad productiva (Sala-i-Martin, 1994). De manera paralela en el modelo Arrow (1962) se consideró que el crecimiento está determinado por el incremento de la población. Por su lado, Nelson y Phelps (1966) introducen en su modelo de crecimiento el nivel de educación. Ellos estiman que el crecimiento es determinado por el nivel de educación desde una función de producción en donde se observa el capital, los niveles de tecnología y el número de trabajadores. La tasa de crecimiento económico depende de la tecnología.

También se consideran modelos haciendo uso del concepto de economía de escala (Argandoña, Gámez & Mochón, 1997). Es así como los principales modelos de crecimiento endógeno incluyen los conceptos de economías de escala (Romer, 1986). Otro es el modelo propuesto por Lucas (1988), quien afirmó que el capital humano se diferencia totalmente del capital físico, en razón a que se debe tener presente la educación y al momento de realizar un proceso de educación se requiere más capital humano que al producir capital físico y desde este punto de vista la tecnología para obtener capital humano es diferente.

Desde la óptica de Romer (1990) la fuente del crecimiento es un aumento de la división social del trabajo y la especialización del mismo, acompañada de investigación y el desarrollo como verdadero motor del crecimiento endógeno. En su función de producción incluye capital humano, trabajadores e insumos de diferentes bienes de capital utilizados en la producción (Gérald, 2007). A los anteriores, Argando-

ña, Gámez y Mochón (1997) agregan el modelo de Becker, Murphy y Tamura (1990). En este trabajo el crecimiento de la población es endógeno. El modelo deja ver que las tasas de retorno de las inversiones de capital humano aumentan pero llega un punto en donde empiezan a disminuir y por tal motivo es necesario realizar inversión en capital humano a lo largo del tiempo. En los países donde el nivel de población es alto se corre el riesgo de contar con poco capital humano, toda vez que las familias deben disponer de mayor cantidad de recursos para invertir en la educación de sus hijos (Becker *et al.*, 1990). A este grupo de modelos se le suma el de Barro (1990), quien incorpora factores de producción suministrados por los gobiernos. En su función de producción introduce el gasto público, la tecnología o productividad aparente del capital, el capital público y una tasa de impuesto proporcional al ingreso y el trabajo. La tasa de crecimiento depende de la porción de recursos nacionales que el Estado deduce para asignar a gastos productivos. El crecimiento, en el modelo de Barro, se produce cuando los individuos deciden ahorrar una unidad de consumo y con este ahorro comprar una unidad de capital (Sala-i-Martin, 1994).

2.2. Acerca de la función Cobb Douglas

La función de producción Cobb Douglas es de gran interés para los economistas, pues permite estimar la productividad marginal de los insumos, la elasticidad de sustitución, medidas de rendimientos a escala y la productividad (J. Levinsohn y A. Petrin, 2000). Asimismo, como quiera que al revisar los diversos estudios donde se presentan distintos modelos de crecimiento económico, se observa que en la mayoría se mide el impacto de las variables sobre la productividad y el producto agregado desde una función de producción Cobb Douglas (Billón-Curras *et al.*, 2007).

No obstante, también se ha considerado la Cobb Douglas como una función no adecuada para explicar el comportamiento del producto agregado y la productividad de los factores cuando es utilizada para explicar el crecimiento de la economía en los países en desarrollo. Esta afirmación se fundamenta en la característica relacionada con los rendimientos constantes y elasticidades de sustitución entre el trabajo y capital igual a uno (Duffy & Papageorgiou, 2000, p. 2).

Considerando lo dicho, se muestra la estructura de la función. Una vez se diseñó la función en el año 1928 se empezó a usar para realizar diferentes mediciones. A partir de Cobb y Douglas (1928) technological change, productivity, and labor. This paper has taken up Samuelson's 1979 invitation to verify empirically his claim that all the regression of the Cobb-Douglas 1928 el modelo neoclásico considera

dos insumos: trabajo y capital. En este sentido la función de producción se puede expresar así:

$$q = f(K, L) \quad (1)$$

La función de producción expresada en la ecuación (1), se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Y_t = AK_t^\beta K_t^\alpha \quad (2)$$

Donde “Y” es la producción agregada. “A” es el nivel de tecnología. y son parámetros que indican el nivel de sustitución entre los factores productivos (Cobb & Douglas, 1928) technological change, productivity, and labor. This paper has taken up Samuelson's 1979 invitation to verify empirically his claim that all the regression of the Cobb-Douglas 1928. De igual manera, en la función se considera la existencia de un producto marginal tanto para el capital como para el trabajo. Se supone que los productos marginales disminuyen en la medida que avanza el proceso de producción. Desde este punto de vista significa que si un factor se mantiene constante y el otro se incrementa de manera sostenida, cada unidad extra de este último genera una variación decreciente en el total del producto. Por otra parte, se asume que hay rendimientos constantes a escala toda vez que se genera un efecto proporcional sobre producción según como cambie la cantidad de los factores.

2.2. Sobre las pruebas estadísticas a aplicar

Las pruebas se aplicarán sobre series estadísticas que datan desde el año 1998 hasta el 2015. Las variables a utilizar se decidieron con base en los 249 documentos mencionados anteriormente, los cuales fueron caracterizados y analizados. Entonces, a partir de aquí y dado que el objetivo de este artículo es presentar los resultados de aplicar la función de producción Cobb Douglas para este tipo de mediciones y sobre diversos factores productivos, es necesario comprobar la relación que existe entre las variables en el largo plazo, pero también la consistencia entre ellas.

Se aplicarán dos pruebas para conocer la relación entre las series estadísticas, puesto que es necesario conocer si se encuentran cointegradas toda vez que si resulta positiva esa relación puede practicarse una regresión lineal o en su defecto no lineal (Montero, R 2013). En este caso decimos que las dos variables están cointegradas.

En términos económicos, dos variables serán cointegradas si existe una relación de largo plazo, o de equilibrio, entre ambas (Gujarati y Porter, 2010 p. 762). Las pruebas a aplicar son: Dickey-Fuller y la metodología de Johansen.

La prueba de Dickey-Fuller tiene por objetivo saber si la serie estadística presenta una caminata aleatoria o tendencia estocástica. Partimos de la siguiente ecuación:

$$Y_t = Y_{t-1} + \mu_t \quad (3)$$

La ecuación (3) es una caminata aleatoria porque la variable Y_t está dependiendo de su rezago Y_{t-1} ; en consecuencia el valor de Y_t en el tiempo t es igual a su valor en el tiempo $(t-1)$ más un choque aleatorio μ_t (Gujarati & Porter, 2010 p. 742). Entonces, lo ideal es que no exista un término ρ ó un efecto que cambie la naturaleza de la variable como una distribución normal. Se observa el término ρ en la ecuación (4):

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + \mu_t \quad (4)$$

De la anterior ecuación, donde Y_t es la variable; si $\rho = 1$ se puede decir que hay problema de raíz unitaria o caminata aleatoria, en su defecto la serie es no estacionaria. Si el valor absoluto de ρ es menor que 1, se dice que la serie de tiempo Y_t es estacionaria (Gujarati & Porter, 2010 p. 744).

La metodología de Johansen (1988) busca determinar la relación entre las variables, a través del tiempo. Esta relación se denomina cointegración y se puede definir como la combinación lineal entre variables (Brooks, 2008). Se da con la ecuación:

$$X_{1,t} = \sum_{i=2}^k \beta_i X_{i,t} + Z_t' \quad (5)$$

Z_t ; representa el término error de las variables que hacen parte de la anterior ecuación y podría no ser estacionario y estar autocorrelacionado si las variables $X_{i,t}$ son del orden uno $d(1)$. $X_{i,t}$; comprenden cada una de las variables las cuales tienen un nivel de integración $d(1)$ (Brooks, 2008).

3. Selección de elementos a través de los hallazgos de la revisión sistemática de literatura

A continuación se exponen los principales hallazgos derivados del análisis de los 249 documentos identificados.

3.1. Evidencias observadas con respecto a países

La revisión de los 249 documentos encontrados entre los años 2001 y 2015 arrojó que los países desarrollados han realizado mayor cantidad de estudios en este campo. De igual manera son los documentos que representativamente están siendo más consultados. En la Figura 1 se observa la distribución de estudios entre países desarrollados y los que están en desarrollo.

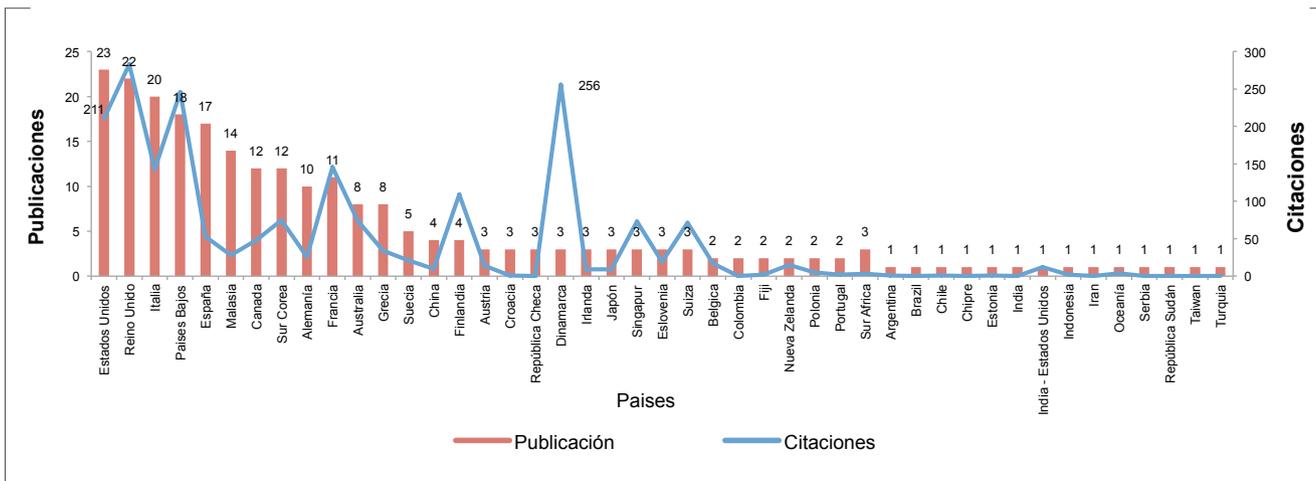


Figura 1: Citaciones según países, de los documentos de investigación entre 2001 y 2015.
Fuente: Montes Vergara, (2016)

Duffy & Papageorgiou (2000) indican que la medición de las TIC se ha enfocado en medir la productividad que causa la inversión en TIC sobre algunos sectores de la economía o del conjunto de la producción de los países. Allí se observan diferentes métodos estadísticos, pero principalmente se ha utilizado la Cobb Douglas. Duffy & Papageorgiou (2000) señalan que los resultados de medición dependen del tipo de país y del método usado.

En relación con los países, las investigaciones se han enfocado en el efecto de las TIC en la productividad y en el crecimiento de los países desarrollados y lo que ha ocurrido en los países en desarrollo. Para el primer grupo el impacto ha sido positivo pero hay que considerar que en los países europeos se han presentado divergencias con respecto a los Estados Unidos dado que hay momentos en los cuales ha disminuido la productividad esperada por las TIC (Daveri, 2002a). Resultados similares se pueden observar en Colecchia, Schreyer, & Colecchia, A.a y Schreyer (2001).

De manera parecida, también lo afirman Jalava & Pohjola (2002). Forestier, Grace y Kenny (2002) Botswana and Zimbabwe, there is also some evidence that provision of telephony has a dramatic effect on the income and quality of life of the rural poor. This paper examines cross-country evidence to discover if teledensity (the number of telephones per capita, trabajaron sobre grupos de población con altos índices de necesidades básicas insatisfechas. El resultado fue que los servicios de telecomunicaciones han tenido impacto positivo y significativo sobre el crecimiento de la desigualdad. A similares conclusiones llegaron Gholami, Tom Lee y Heshmati (2006) como también Bankole, Osei - Bryson y Brown (2015).

3.2. Evidencias observadas con respecto a factores externos

Existen diversos factores que pueden contribuir al crecimiento de una economía y a la productividad de los factores. Dado lo anterior, se debe pensar la tecnología desde una perspectiva amplia (Sala-i-Martin, 1994). En relación con este aspecto puede suceder que dos economías o países, a pesar de utilizar los mismos factores productivos y en las mismas cantidades, resulten con niveles de producto diferentes. Las razones para ello son por las distorsiones que se producen por la eficiencia de las instituciones. Considerando lo dicho, es aquí donde entra a jugar lo que se denomina tecnología (Sala-i-Martin, 1994).

Las investigaciones tocan uno y otro aspecto, como por ejemplo: el tipo de tecnología, su penetración y pertinencia (Jung et al., 2013); la integración de las políticas con los sistemas institucionales, macroeconómicas y desarrollos tecnológicos (Inklaar, O'Mahony & Timmer, 2005a); también en la pertinencia del conocimiento y la innovación (Pohjola, 2002), el tamaño del país (Larsen & Meliciani, 2010), el sector económico (Inklaar et al., 2005), el tipo de empresa y su organización, al igual que con el nivel de desarrollo del país (Kauffman, R.a, Kumar, 2008), el monto de las inversiones (Bakhshi, H.a, Larsen, 2005) y tipo de variables usadas dentro de los modelos de medición (Ho et al., 2010).

En la Figura 2 se observa la distribución porcentual con respecto a los estudios caracterizados.

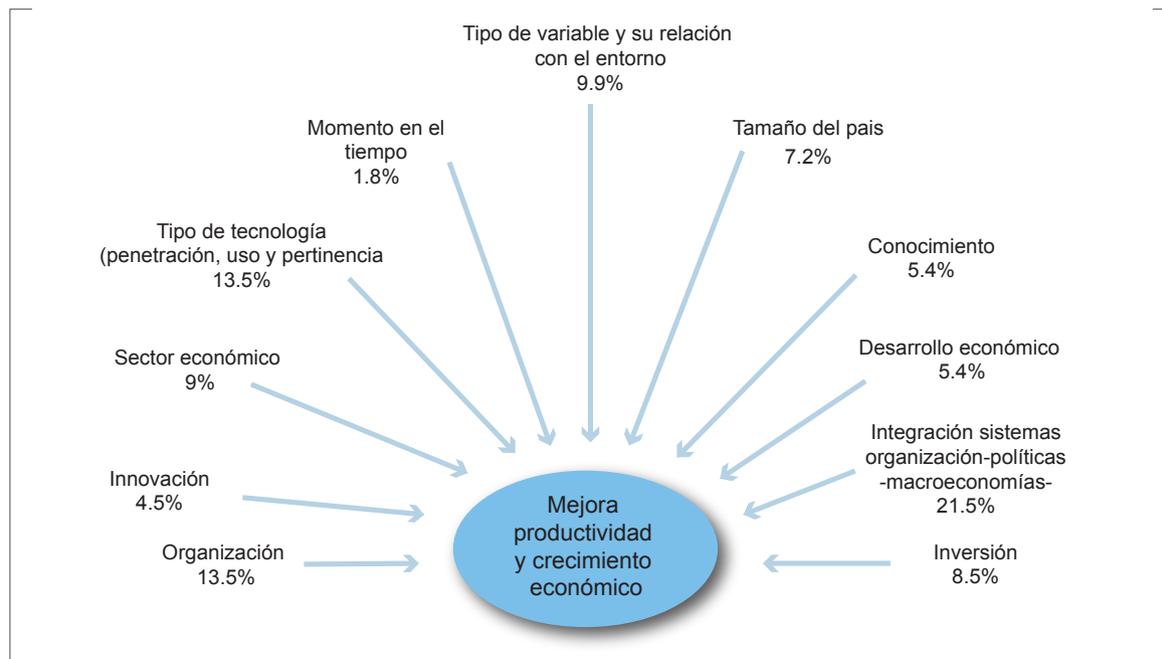


Figura 2. Distribución entre los documentos de análisis de los factores que influyen en el impacto de la inversión en TIC sobre el crecimiento económico.

Fuente: Montes Vergara, (2016)

3.3. Evidencias observadas con respecto a variables utilizadas

Dentro de los 249 documentos se identificaron variables de tipo económico y también las que representan la tecnología. De las primeras se pueden citar el Producto Interno Bruto (a nivel nacional y por sectores económicos), productividad por factor productivo (trabajo o capital), horas de trabajo, productividad total de factores, capital humano (según nivel de educación o aprendizaje), nivel de empleo, nivel de innovación, estructura organizacional, inversión extranjera directa, salarios, calidad de vida, exportaciones, mortalidad infantil, efectos de la apertura económica y externalidades de mercado.

En la Tabla I se puede observar cómo están distribuidas y la frecuencia con la cual los 44 tipos de variables son utilizados entre los 249 documentos, según si es económica, tecnológica (TIC, No TIC) e innovación y conocimiento:

Tabla I.

Distribución por tipo de las variables

Variables	Porcentaje
Macroeconómicas - Políticas - Productividad-Trabajo	47,9%
TIC (Hardware-Software-Internet-Telefonia...)	35,8%
Conocimiento e Innovación	13,2%
No TIC (Maquinaria-Inmuebles-Energía...)	3,1%
Total	100,0%

Fuente: Montes Vergara, (2016)

En la Tabla se observa que el mayor porcentaje de los documentos usan variables de tipo económico con el 47.9%. Siguen los trabajos que utilizan variables TIC3 con el 35.8% y la innovación y las No TIC con el 13.2% y 3.1%, respectivamente.

3.4. Evidencias observadas con respecto al uso de la función Cobb Douglas

Ejemplos de estudios realizados para medir el impacto de las TIC desde la Cobb Douglas se pueden mencionar: Collecchia *et al.* (2001) como también Jalava & Pohjola (2002); Stiroh (2002a); Timmer y van Ark (2005); entre otros. Ellos utilizaron la función de producción mencionada para analizar el impacto de la inversión en TIC sobre la productividad de los factores. Pero dentro del capital partieron del hecho de diferentes tipos o formas de representar las variables interdependientes y en términos generales los clasificaron como TIC y No TIC.

En las Figuras 3 y 4 se evidencia la utilización de la Cobb Douglas en los estudios adelantados en diferentes países.

Se observa que los desarrollados son los que en mayor medida han usado la Cobb Douglas para realizar las mediciones. A manera de ejemplo se mencionan Italia, Reino Unido y Estados Unidos.

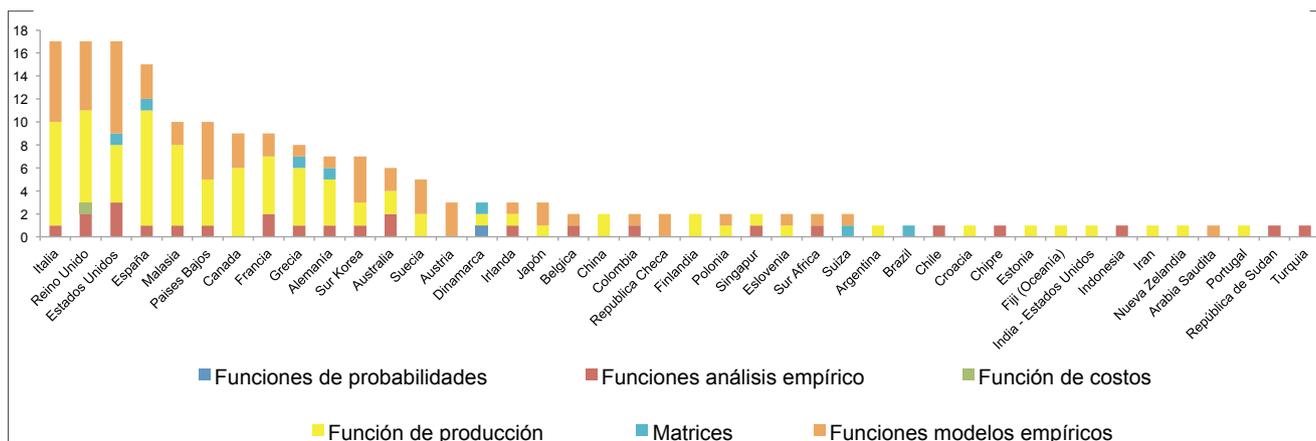


Figura 3. Funciones de medición por países
Fuente: Montes Vergara, (2016)

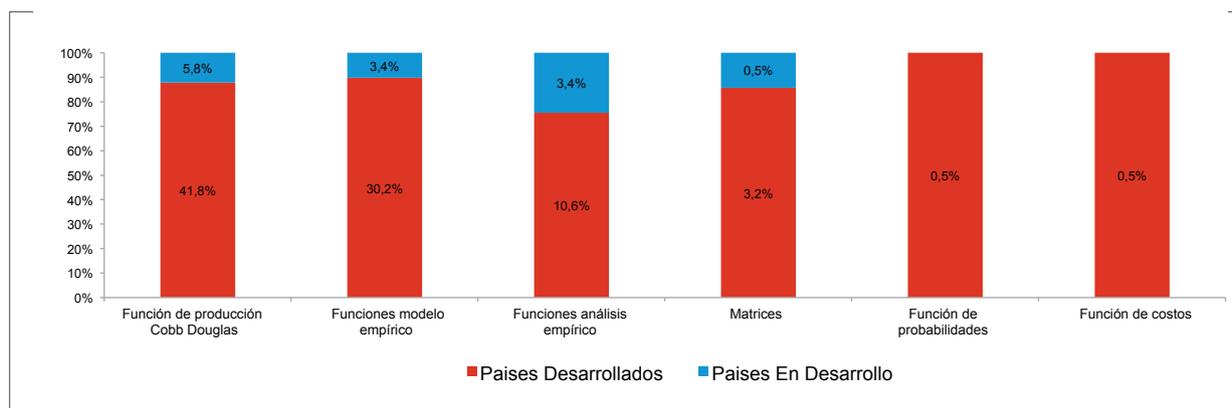


Figura 3. Funciones de medición por países
Fuente: Montes Vergara, (2016)

La información de la Figura 4 también se puede presentar según el desarrollo de los países. Los países desarrollados son los que utilizan más la Cobb Douglas para realizar mediciones de impacto de las TIC sobre la economía.

Colecchia *et al.* (2001) definieron la siguiente ecuación para calcular el crecimiento del producto:

$$d \ln Q = \varepsilon_L d \ln L + \varepsilon_{KN} d \ln K^n + \varepsilon_{KC} d \ln K^c + d \ln A \quad (6)$$

Donde ε_L , ε_{KN} y ε_{KC} , son las elasticidades de la producción de los factores. Q es el producto agregado, K^c son los servicios de capital TIC (hardware, software y equipos de comunicación), K^n son los servicios de capital no TIC y A es el factor de tecnología endógeno o productividad factorial.

Jalava & Pohjola (2002), midieron el efecto de la función de producción a través del tiempo en la siguiente forma:

$$Y(Y_{TIC}(t), Y_0(t)) = A(t)F(K_{TIC}(t), K_0(t), L(t)) \quad (7)$$

La ecuación (7) representa el valor agregado del producto (Y) en el tiempo y se constituye en bienes y servicios TIC y en otros productos Y . El parámetro A es la productividad o tecnología multifactorial (Hicks neutral), K_{TIC} representa los servicios de capital TIC, K_0 son los servicios de otros bienes de capital y L son los servicios de trabajo. Por su lado, Timmer y van Ark (2005) usaron el método denominado “Flujo de mercancía”. Este método rastrea las mercancías desde su producción doméstica o importación hasta la compra y usaron la función:

$$Y = A * X(L, K_n, K_{it}) \quad (8)$$

Esta función, al igual que las anteriores, tiene los mismos componentes. Y , es la variable que indica el producto agregado. L , los servicios por concepto de trabajo. K_n y K_{it} los servicios de capital no TIC y los de TIC, respectivamente.

Un ejemplo adicional al trabajo realizado por Stiroh (2002) define la función de producción de la siguiente forma:

$$Y = Z_i f(K_{i,ICT}, K_{i,O}, H_i, M_i) \quad (9)$$

Donde Y es el producto real, $K_{i,ICT}$ es el capital relacionado con TIC, $K_{i,O}$ se refiere a otro tipo de capital diferente a TIC, H_i hace referencia al número de horas trabajadas, M_i insumos productivos intermedios y Z_i representa la neutralidad de Hicks o factor de la productividad total de factores.

Considerando estos ejemplos, se presentan los coeficientes obtenidos desde los modelos diseñados al evaluar el impacto de las TIC para los Estados Unidos (Tabla 2). El motivo de haber escogido los Estados Unidos es puesto que es el país donde, según los resultados obtenidos en los estudios, donde mejor se ha encontrado un efecto de las TIC sobre el producto agregado. La Tabla 2 resume los resultados.

En la Tabla 3 se observa que utilizan otra estructura dentro de las variables. Incluso, como se presenta en Basu, S.a e, Fernald, J.G.b, Oulton, N.c y Srinivasan (2003), sólo consideran hardware y software.

Es importante resaltar que las variables TIC son complementarias entre ellas. Se necesitan unas a otras para lograr ser significativas y conformar un modelo relevante. En otras palabras, si se consideran de manera independiente o por modelos separados, es muy posible que los niveles de inversión realizados sobre ellas no logren alcanzar un impacto sobre el PIB agregado. En ese sentido es la explicación que se tiene del porqué se observa en la Tabla 3 que los re-

sultados de las TIC mejoran su impacto sobre el producto agregado.

Entre los dos grupos, correspondiente a estudios realizados sobre el impacto de las TIC en los Estados Unidos al usar la Cobb Douglas, se pudo observar que las variables TIC compiten con las No TIC y en algunos casos estas últimas tienen mayor impacto que las primeras.

4. Construcción de base de datos para aplicación de pruebas en el contexto colombiano

Para llevar a cabo esta fase se hizo una revisión de los datos reportados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), tanto del producto interno bruto, PIB, de la economía como del sector TIC. Otras fuentes de información son la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTic), Departamento Nacional de Planeación (DNP), Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Ministerio de Comercio Exterior, Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), Ministerio de Educación Nacional y Banco de la República.

La dinámica de la fase tuvo como punto de referencia la observancia de la homogeneidad en la información de las variables, con el fin de construir series de tiempo con el

Tabla 2.

Estudios realizados con tres variables independientes.

Nombre artículo	Autor	Universidad	Año estudio	Periodo de tiempo evaluado	Endógena	Parámetros betas variables - Estados Unidos		
						Computadores	No Tic	Equipos de comunicación
Economic growth in the New Economy: Evidence from advanced economies	Jalava, J.a, Pohjola, M.b	United Nations University	2002	1974-1990		0,3	0,9	0,1
				1991-1995		0,3	0,4	0,1
				1996-1999		0,6	0,8	0,2
Are ICT spillovers driving the New Economy?	Stiroh, K.J.	Federal Reserve Bank of New York	2002	1984-1999	Valor agregado economía	-0,02	0,53	-0,2
Does information and communication technology drive EU-US productivity growth differentials?	Timmer, M.P.a, van Ark, B.b	Faculty of Economics, University of Groningen	2005	1980 - 1995		1,1	0,5	0,3
				1995 - 2001		1,2	0,8	0,5

Fuente: Elaboración propia, con base en Colecchia, A.a y Schreyer (2001), Jalava & Pohjola (2002), Stiroh (2002b) y Timmer y van Ark (2005)

Tabla 3.

Estudios realizados con variables TIC agregadas.

Nombre artículo	Autor	Universidad	Año estudio	Periodo de tiempo evaluado	Endógena	Variables	Coefficientes
The case of the missing productivity growth, or does information technology explain why productivity accelerated in the United States but not in the United Kingdom?	Basu, S.a e, Fernald, J.G.b, Oulton, N.c, Srinivasan, S.d	University of Michigan	2003	1980 - 1990	Productividad Total de Factores	Promedio Computadores - Software	4,1
				1990 - 1995			17,4
				1995 - 2000			-8,9
Productivity, workplace performance and ICT: Industry and firm-level evidence for Europe and the US	Matteucci, O'Mahony, Robinson, & Zwick	National Institute of Economic and Social Research	2005	1979 - 1995	Valor agregado	Trabajo calificado	0,27
						Capital TIC	0,58
						Capital No TIC	0,29
				Constante		0,61	
				Trabajo calificado		0,16	
				Capital TIC		1,06	
1995 - 2000	Capital No TIC	0,31					
	Constante	1,83					
	Mind the gap! international comparisons of productivity in services and goods production	Inklaar, R., Timmer, M.P. y Van Ark	University of Groningen	2008	1987 - 1995	Valor agregado	Trabajo calificado
Capital TIC							0,9
Capital No TIC							0,3
Constante					0,2		
Trabajo calificado					0,1		
Capital TIC					1,3		
1995 - 2003	Capital No TIC	0,4					
	Constante	0,9					

Fuente: Elaboración propia con base en Basu, S.a e, Fernald, J.G.b, Oulton, N.c y Srinivasan (2003), Matteucci, O'Mahony, Robinson, & Zwick (2005) y Inklaar, Timmer, & van Ark (2007)

mismo número de periodos y desde luego con datos correspondientes a iguales periodos de tiempo. Es así como se construyeron series de tiempo con corte trimestral entre el 1998 y el 2015. Éste periodo es en razón a que, como ya se mencionó, hacia 1998 fue cuando se empezaron a dar los primeros pasos en políticas de TIC en el contexto colombiano.

5. Aplicación de la función Cobb-Douglas al caso colombiano

En esta sección se muestra la función Cobb Douglas, construida para el caso colombiano y las pruebas realizadas sobre las estadísticas TIC y No TIC que permiten medir el impacto de las TIC en Colombia.

5.1. Propuesta de modelo para el caso colombiano

Considerando los hallazgos con la revisión de literatura se delimitaron los elementos requeridos para idear la función de producción Cobb Douglas:

$$Y = Af(Pib_{tic}, Pib_{notic}, Tic, S_{internet}, A_{moviles}, M_{tic}, L, M_{notic}) \tag{10}$$

Donde *Y* representa el PIB colombiano, *Pib_{tic}* producto interno de telecomunicaciones, *Pib_{notic}* producto interno de maquinaria y equipos, *Tic* tecnologías de la información y comunicaciones (computadores - telefonía fija), *S_{internet}* suscriptores de internet, *A_{moviles}* abonados de telefonía móvil, *M_{tic}* importaciones TIC, *M_{notic}* importaciones en maquinaria y equipos y *A* indica los niveles de eficiencia a través de

la productividad de factores (neutralidad tecnológica de Hicks). Para expresarla desde una óptica econométrica se incluye el error estocástico:

$$Pib_{agreg_t} = \beta_0 + \beta_1 Pib_{tic_t} + \beta_2 Pib_{notic_t} + \beta_3 Tic_t + \beta_4 S_{intern_t} + \beta_5 A_{movil_t} + \beta_6 M_{tic_t} + \beta_7 M_{notic_t} + u \quad (11)$$

Los coeficientes β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 , β_6 y β_7 ; representan las elasticidades de las variables.

5.2. Resultados y pruebas aplicados para el caso colombiano

Este numeral presenta el resultado del modelo para el caso colombiano y las pruebas realizadas para corroborar la pertinencia del uso de la función Cobb Douglas al realizar medidas con estadísticas producidas desde la economía colombiana.

5.2.1. Resultados del modelo Cobb-Douglas en el caso colombiano

Los resultados indican que las variables presentadas en el modelo son significativas. El modelo por Mínimos Cuadrados evidencia que el impacto del PIB de telecomunicaciones sobre el PIB agregado representa el 29.9% con respecto al resto de variables (Tabla 4). En este caso se usaron variables instrumentales como la inversión en maquinaria. Ahora, al estimar el modelo considerando variables No TIC como el PIB de maquinaria en los regresores se observa cómo la variable de mayor impacto (Beta = 22.27) sobre el PIB agregado y en su defecto el TIC de telecomunicaciones cae (Beta = 3.05) (Tabla 5). De esta forma pierden relevancia

las variables relacionadas con las TIC, pero no dejan de ser importantes.

En este sentido, el resultado no se aleja de otros estudios realizados cuando han considerado el capital No TIC. Investigaciones al respecto son las de Inklaar O'Mahony y Timmer (2005) y Timmer, y van Ark (2005). Pero se ha indicado por otros estudios que la productividad esperada desde las TIC también puede disminuir (Daveri, 2002b). Como se señaló antes, otro resultado similar se puede observar en Colechia y Schreyer (2001).

De manera parecida, así también lo afirman Jalava y Pohjola (2001). Igualmente Levinsohn y Petrin (2000) han considerado que se deben usar variables proxis cuando se presenta el problema de simultaneidad y existen variables no observables, es aquí donde la variable No TIC fue útil. Pero Levinsohn y Petrin (2000) aclaran que los resultados entre usar y no considerar variables simultáneas difiere en estos casos.

5.2.2. Pruebas aplicadas al caso colombiano

Por ser series de tiempo, la literatura indica que se debe partir del hecho de la existencia de no estacionariedad (Gujarati & Porter, 2010). Por tanto, es necesario indagar por la existencia de raíz unitaria para ver si hay efectos en el tiempo. Es pertinente decir que si las series son estacionarias de orden 1, se puede deducir que también están cointegradas. (Gujarati & Porter, 2010). Por la misma razón: siguen un comportamiento homogéneo y constante entre ellas. Dado ese propósito, se usó la prueba de Dickey-Fuller (Tabla 6) y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) (Tabla 7). Estas mediciones estadísticas dejan ver los siguientes parámetros, evidenciables en las Tablas 6 y 7.

Tabla 4.
Resultados con variables TIC e instrumentales (Maquinaria)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SUSCRIPTOREINTERNET(2)	0.004356	0.001078	4.041375	0.0001
TELCOKTE(3)	29.90928	2.330881	12.83175	0.0000
COMPUTADORES(1)	-0.002745	0.001336	-2.054449	0.0442
LINEASFIJAS	-0.003240	0.001887	-1.717263	0.0909

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.
Resultados con variables TIC y No TIC

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
SUSCRIPTOREINTERNET(2)	0.002837	0.000493	5.750455	0.0000
MAQUINARIAKTE(1)	22.27743	10.01222	2.225024	0.0297
ABONADOSMOVILES(1)	0.000683	0.000116	5.864373	0.0000
TELCOKTE(1)	3.053979	1.302147	2.345341	0.0222

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.
Prueba Dickey-Fuller:

Variables	No estacionaria		Rezago	Estacionaria		Rezago
	t-Statistic	Prob.*		t-Statistic	Prob.*	
Abonados móviles	0.200313	0.9708	0	-4.472471	0.0005	1
No educación básica	3.316623	1.0000	0	-4.918581	0.0001	1
Primaria	1.577113	0.9994	0	-9.121647	0.0000	2
Computadores	3.872145	1.0000	0	-8.104188	0.0000	2
No terminación secundaria	-0.122475	0.9421	0	-14.5476	0.0000	2
Posgrados	1.218787	0.9979	0	-6.747667	0.0000	2
Importación maquinaria	-0.711924	0.8366	0	-8.309283	0.0000	1
Importación TIC	-0.657356	0.8501	0	-8.00296	0.0000	1
Líneas fijas en servicio	-2.500405	0.1197	0	-8.943673	0.0000	1
PIB maquinaria y equipos	-1.206849	0.6671	0	-9.129076	0.0000	1
Secundaria	0.090787	0.9627	0	-3.933919	0.0031	1
Producto Interno Bruto	1.251268	0.9982	0	-7.979685	0.0000	1
Pregrado	0.600471	0.9888	0	-12.95085	0.0000	2
Suscriptores internet	9.884613	1.0000	0	-2.937596	0.0471	2
PIB TIC	-1.018823	0.7420	0	-4.77123	0.0049	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.
Prueba de KPSS. Elaboración propia

Variables	No estacionaria		Rezago	Estacionaria	
	Prob.*			Prob.*	Rezago
Asymptotic critical values*:		1% level		0.739000	
		5% level		0.463000	
		10% level		0.347000	
Abonados móviles	1.095892		0	0.204844	1
No educación	1.077748		0	0.282795	1
Primaria	0.985727		0	0.184024	1
Computadores	0.94449		0	0.331091	2
No terminación secundaria	0.854824		0	0.196416	1
Posgrados	1.325101		0	0.144785	1
Importación maquinaria	1.090656		0	0.12298	1
Importación TIC	0.878395		0	0.174402	1
Líneas fijas en servicio	NA		-	0.22738	0
PIB maquinaria y equipos	0.954454		0	0.042837	1
Secundaria	0.551782		0	0.180301	1
Producto Interno Bruto	1.09262		0	0.535937	1
Pregrado	0.955651		0	0.109378	2
Suscriptores internet	0.953803		0	0.329234	2
PIB TIC	1.100784		0	0.136898	1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados evidencian que las series presentan rezagos de orden $I(1)$ e $I(2)$. Es preciso recordar que uno de los requisitos para definir la cointegración son: que las variables sean estacionarias de orden I y que exista una combinación lineal de ambas, siendo estacionarias de orden 0 . Partiendo de la definición que enseña la cointegración como una relación a largo plazo entre las variables, se puede asociar dicho comportamiento al convertirse en estacionarias entre los rezagos uno y dos. Igualmente se puede decir que al someter el residuo de las variables a una prueba de raíz unitaria y se encuentra que es $I(0)$, también se puede dictaminar que las series están cointegradas (Gujarati & Porter, 2010, p. 762).

En la Tabla 8 se observa que se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria realizada sobre la parte aleatoria de la regresión realizada de las variables consideradas en las Tablas 6 y 7. Entonces, al probar la estacionariedad de las variables se puede conocer si se encuentran o no cointegradas (Montero, R 2013).

Para el caso colombiano, si a las series de tiempo (1998-2015)⁴ de las variables: producto interno bruto agregado

(PIB), producto interno bruto correo y telecomunicaciones (PIB telco), fabricación de maquinaria y equipo, importación de equipos de telecomunicaciones, importación y fabricación de maquinaria y equipo, líneas fijas en servicio, abonados móviles, computadores, suscriptores internet y salarios según nivel de formación (capital humano); se les aplica la prueba de Johansen, se observa en la Tabla 9 cuántos vectores están cointegrados. (Ver Tabla 9).

Los resultados a través de los modelos, el tipo de prueba (prueba de Traza y Máximo Valor Propio) y el modo de tendencia de los datos indican que las series están cointegradas dejando evidencia de existir un equilibrio estable a lo largo del tiempo entre las variables. Las especificaciones indican que hay vectores de cointegración. Los datos señalan que al menos cuatro vectores están cointegrados. Los resultados del criterio de información de Akaike y el criterio de Schwarz (Tabla 10) señalaron que existe un VAR entre I y 5 rezagos con intercepto.

Con los datos de la Tabla 8 se determina que la obtención del número de vectores cointegrados se puede hacer considerando una tendencia determinística y con intercepto.

Tabla 8.

Prueba de estacionariedad de los residuos

Null Hypothesis: RESID01 has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=11)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.157408	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.525618	
5% level	-2.902953	
10% level	-2.588902	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.

Resultados de prueba Johansen, número de vectores cointegrados.

Sample: 1998Q1 2015Q4					
Included observations: 69					
Lags interval: 1 to 2					
Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model					
Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Test Type	No Intercept	Intercept	Intercept	Intercept	Intercept
	No Trend	No Trend	No Trend	Trend	Trend
Trace	8	9	8	10	8
Max-Eig	4	4	4	5	5

*Critical values based on MacKinnon-Haug-Michelis (1999)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.
Criterios de decisión de rezagos.

Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Rank or	No Intercept	Intercept	Intercept	Intercept	Intercept
No. of CEs	No Trend	No Trend	No Trend	Trend	Trend
Akaike Information Criteria by Rank (rows) and Model (columns)					
5	245.7875	245.1953	245.1831	244.5973	244.3521*
Schwarz Criteria by Rank (rows) and Model (columns)					
0	257.1503	257.1503	257.5610	257.5610	257.7824
1	257.0743	256.8432*	257.1925	257.1349	257.2965

Fuente: Elaboración propia

En la metodología de Johansen se considera la prueba de Traza y la de Máximo Valor Propio, las respuestas de dichas pruebas se pueden observar en la Tabla 11.

El estadístico de Traza deja ver que la hipótesis nula de no cointegración se rechaza en al menos 7 vectores, dado que el resultado es mayor con respecto al valor crítico al 5%.

Por lo anterior se pudo concluir que existe cointegración entre las series analizadas y por lo tanto tienen un comportamiento similar en cuanto a su comportamiento a lo largo del tiempo. Una segunda prueba en la metodología de Johansen es la del Máximo Valor Propio. La prueba indica que en al menos tres vectores presenta cointegración, con ello confirma la existencia de cointegración en tres vectores.

Tabla 11.
Pruebas de traza y máximo valor propio.

Sample (adjusted): 1998Q4 2015Q4
 Included observations: 69 after adjustments
 Trend assumption: Linear deterministic trend
 Lags interval (in first differences): 1 to 2
 Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized		Trace	0.05	
None *	0.841376	575.8845	334.9837	0.0000
At most 1 *	0.740074	448.8404	285.1425	0.0000
At most 2 *	0.716138	355.8726	239.2354	0.0000
At most 3 *	0.630406	268.9831	197.3709	0.0000
At most 4 *	0.503123	200.3039	159.5297	0.0000
At most 5 *	0.451045	152.0444	125.6154	0.0005
At most 6 *	0.385249	110.6624	95.75366	0.0032
At most 7 *	0.360500	77.09123	69.81889	0.0117
At most 8	0.270097	46.24352	47.85613	0.0703
At most 9	0.188893	24.51930	29.79707	0.1794
At most 10	0.120815	10.07376	15.49471	0.2751
At most 11	0.017089	1.189307	3.841466	0.2755

Trace test indicates 8 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Continúa en la página 87

Viene de la página 86

Hypothesized		Max-Eigen	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None *	0.841376	127.0441	76.57843	0.0000
At most 1 *	0.740074	92.96786	70.53513	0.0001
At most 2 *	0.716138	86.88949	64.50472	0.0001
At most 3 *	0.630406	68.67918	58.43354	0.0037
At most 4	0.503123	48.25953	52.36261	0.1241
At most 5	0.451045	41.38201	46.23142	0.1511
At most 6	0.385249	33.57113	40.07757	0.2247
At most 7	0.360500	30.84771	33.87687	0.1103
At most 8	0.270097	21.72422	27.58434	0.2349
At most 9	0.188893	14.44554	21.13162	0.3296
At most 10	0.120815	8.884450	14.26460	0.2959
At most 11	0.017089	1.189307	3.841466	0.2755

Max-eigenvalue test indicates 4 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Fuente: Elaboración propia

Un ejemplo de estos vectores se presenta en la Tabla 12. Este vector indica que las variables están relacionadas linealmente y por lo tanto hay un equilibrio estable. Los residuos observados son considerados como los errores de corto plazo, respecto del equilibrio de largo plazo.

De esta manera, las variables siguen una trayectoria similar en el largo plazo y no se desvían sistemáticamente en el tiempo (Villamil H, 2011). La interpretación de los coeficientes indica cuánto puede variar el PIB por el cambio de una de las variables en un 1% manteniendo el resto constantes.

5.2.3. Consideraciones sobre los resultados en el caso colombiano

Se pudo determinar que estas series presentan un comportamiento constante en el tiempo y son homogéneas. Las pruebas evidencian que la Cobb Douglas al ser aplicada a una serie de tiempo, es una función adecuada para evaluar el impacto de las TIC sobre el producto agregado en Colombia. Ello a pesar de señalarse su alto grado de aplicabilidad a los países desarrollados.

Tabla 12.

Vector de cointegración.

1 Cointegrating Equation(s):		Log likelihood	-8187.216									
Normalized cointegrating coefficients (standard error in parentheses)												
PIB	Abonados Móviles	Suscriptores internet	PIB Telco	Líneas fijas	Importación Telco	Computadores	Secundaria sin terminar	Pregrado	Importación Maquinas	Maquinaria	Pregrado sin terminar	
1.000000	0.000565	0.001253	-11.74088	-0.006660	15.93672	0.003406	-0.097860	-0.062129	-24.75110	-15.06816	-0.103467	
Residuos	(0.00013)	(0.00094)	(4.45973)	(0.00195)	(2.82855)	(0.00104)	(0.06868)	(0.00829)	(2.88252)	(23.0975)	(0.02053)	

Fuente: Elaboración propia.

Precisamente las TIC pueden contribuir a los desarrollos tecnológicos y estos a su vez impulsar el avance en otros factores productivos como el capital humano o capital No TIC. Los rendimientos no sólo pueden ser constantes. También se pueden considerar crecientes o decrecientes (Tabla 13). En resumen se puede decir:

Se pueden presentar casos en donde los impactos de algunos factores productivos se reflejan de manera más que proporcional sobre el producto final. Pero también se pueden reflejar con un impacto menor con respecto a su participación sobre el crecimiento (disminución) del producto final (Cobb & Douglas, 1928).

Tabla 13.

Tipos de rendimientos

$\alpha + \beta > 1$	Rendimientos de escala crecientes
$\alpha + \beta < 1$	Rendimientos de escala descendentes
$\alpha + \beta = 1$	Rendimientos de escala constantes

Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

Los países desarrollados muestran mayor interés en medir la relación de las TIC con el producto agregado y otras variables macroeconómicas en la economía, con respecto a los países en desarrollo. En esa medida son los que más han profundizado en las investigaciones y por ello muestran mayor interés por lograr métodos de medición más rigurosos. Desde esta óptica no es prudente generalizar los resultados y llevarlos a la economía agregada, más aún si son obtenidos desde una muestra de empresas, como tampoco asumir parámetros estadísticos calculados desde investigaciones correspondientes A otros países.

Las investigaciones en esta materia aún tienen camino por recorrer. Se requiere definir asuntos como las variables a incluir en las mediciones y la forma cómo determinarlas con el fin de obtener respuestas lo más cercanas posible y reales del impacto de las TIC sobre la economía. De igual forma, es indispensable establecer líneas claras en cuanto a la definición de TIC a la hora de realizar mediciones y tener muy claro el ambiente institucional y macroeconómico.

No obstante los contradictores que se oponen al uso de la función de producción Cobb Douglas, es importante señalar que no es prudente asumir de manera definitiva dicha posición. Dentro de la función yacen una serie de características que pueden ayudar a interpretar mejor los impactos de las TIC en la economía. Ello toda vez por la versatilidad de la función y la condición de facilitar la interpretación del tipo de rendimiento de cada factor en el tiempo como tam-

bién la relación que se puede encontrar entre tecnologías pasadas y presentes (Cobb & Douglas, 1928).

No es indicado concluir que es una función de producción apropiada sólo para países desarrollados. Estudios indican que es más usada para ellos y poco para los que están en desarrollo. No obstante tiene aplicabilidad en otros países. Es así como se pueden encontrar diferentes estudios donde se ha usado para países en desarrollo (Samimi & Ledary, 2010). También se puede citar otro bajo características similares donde se utilizó la Cobb Douglas: Basant, Commander, Harrison, y Menezes-Filho, (2006) dejan ver en su estudio que las características institucionales de una región o estado pueden afectar las decisiones de adopción de las TIC y los retornos de las TIC. Con este resultado evidencian que al aplicar la función en países en desarrollo pueden observar las falencias institucionales o de la región. También Antony (2007) aplica una función de producción considerando factores productivos e indica que la diferencia entre países desarrollados y los que están en vía de desarrollo radica en que los países menos desarrollados difieren en sus dotaciones de capital humano y en esa medida también se podrán dar los retornos.

Dado lo anterior, la diferencia entre unos y otros radica en las participaciones de esos niveles de sustitución entre los factores. Sin embargo, es importante considerar que estos retornos pueden ser constantes y es lo que han indicado los resultados de las pruebas realizadas en el presente estudio. Precisamente, la Cobb Douglas tiene la característica de los rendimientos constantes toda vez que se genera un efecto proporcional sobre producción según como cambie la cantidad de los factores. En Montes Vergara, (2016b) se utilizó la función Cobb Douglas, para medir el impacto de los factores productivos en Colombia tanto TIC como No TIC sobre el producto agregado. Los resultados no se alejan del resto de estudios realizados en países desarrollados y dejan ver la importancia del capital humano para que las TIC puedan generar rendimientos a escala. También se observa en Montes Vergara, (2016b) que las TIC en Colombia, no obstante de ser significativas y permitir la construcción de un modelo relevante de crecimiento económico, aun los factores No TIC tienen mayor impacto sobre el producto. Desde esta óptica se puede ultimar sobre la aplicabilidad de la función Cobb Douglas, más aun cuando Paul Samuelson citado por Mishra (2007) señalaba en sentido figurado que él utilizaría la Cobb Douglas hasta que se deroguen las leyes de la termodinámica.

Otro aspecto que es necesario decir es la característica similar en otros países como los Estados Unidos en cuanto a que las TIC de manera agregada pueden tener mejor impacto que cuando son medidas por tipo de tecnología. Asimismo es importante considerar que las No TIC pueden

tener más incidencia en el producto en relación con las TIC en algunos momentos. Bien lo dice Schumpeter, citado por J. G. Backhaus (2003), que los cambios en el estado de equilibrio de la economía sólo pueden ser causados por los datos y ello debido a “factores intervinientes” procedentes del exterior y también indica que el estado de equilibrio, hacia el cual la economía gravita en un nuevo punto en el tiempo, es distinto al logrado anteriormente (Citado en J. G. Backhaus, 2003, p. 62).

Las pruebas realizadas evidencian que la naturaleza estadística en Colombia deja ver el comportamiento de rendimientos a escala, lo cual indica que las TIC están aportando al producto agregado. No obstante, como bien se indicó, pueden existir periodos donde se presenta una disminución de esos rendimientos y por lo tanto se puede considerar que son decrecientes.

Los resultados obtenidos en las pruebas de estacionariedad dejan ver que las series presentan rezagos de orden $I(1)$ e $I(2)$. En este sentido, se concluye que dicho comportamiento se asocia a series estacionarias entre los rezagos uno y dos. Igualmente se concluye que al someter el residuo de las variables a una prueba de raíz unitaria se encuentra que es $I(0)$. Dado lo anterior, se puede dictaminar que las series están cointegradas (Gujarati & Porter, 2010, p. 762).

Las pruebas de Johansen consuman que existe cointegración entre las series analizadas y por lo tanto hay un comportamiento similar en su tendencia y comportamiento a lo largo del tiempo. Los resultados expresan que existen vectores de cointegración y con ello se confirma la existencia de homogeneidad y rendimientos constantes en las estadísticas y, en consecuencia, sobre los aportes de los factores al producto.

En virtud de las características del sector TIC como un ramo que genera rendimientos de escala, la Cobb Douglas es una función apropiada para medir su evolución y la interacción de las tecnologías. Se recomienda a los entes constructores de política y regulación, Ministerio de Tecnologías y Comisión de Regulación de Comunicaciones, promover el uso de la misma con el fin de construir mejores y más aplicables políticas en cuanto a la inversión y difusión de las TIC.

Una característica del sector TIC es la falta de información estadística, representada en una serie de tiempo. Esta particularidad se observó tanto en el contexto internacional como en Colombia. No obstante se logró construir la serie de tiempo al obtener información de diferentes entidades del sector tanto de cobertura internacional como las que orientan la política y la regulación en Colombia.

Es así como la principal limitación fue la información, tanto estadística como metodológica, pues generó incertidumbre dado que al comenzar el trabajo se desconocían antecedentes producidos desde Colombia y aplicables a este tipo de trabajos toda vez que no existía una serie estadística para realizar las mediciones. Con respecto a la información, también fue una limitación la escogencia de la metodología pues no se había realizado en Colombia la medición de la relación del producto agregado y las TIC desde pruebas de cointegración y la función Cobb Douglas.

A raíz de esta situación, fue una limitante la definición de variables toda vez que las existentes no presentaban una secuencia en el tiempo. Esto retardó el avance y por tanto se requirió identificar más de una variable con el fin de trabajar con varias para lograr que el modelo simulara los efectos existentes entre ellas. Pero así mismo, la limitación de la información ha sido el mayor inconveniente a nivel internacional y por tal motivo parece ser una característica del sector TIC. Entonces, se puede decir que paradójicamente, al parecer es una característica del sector de las Tecnologías de la Información.

En cuanto a investigaciones futuras, se sugiere evaluar el grado de cointegración por periodos de tiempo y asimismo realizar un seguimiento constante, con el fin de conocer en el corto plazo las decisiones que se deben adoptar en el sector TIC, considerando los aportes en términos de rendimientos de escala de las variables TIC al producto agregado. Otra investigación a desarrollar en este campo es la de medir la consistencia del aporte de las TIC al producto en cuanto a determinar la relación en el largo plazo sobre la inflación, tanto del sector como de la economía agregada. También se recomienda determinar cuál de los factores TIC (hardware, software, telefonía), arroja mejores y más estables rendimientos sobre el producto agregado en el largo plazo. ≡

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Notas

1. El artículo resulta del trabajo final de Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia: “Evaluación del impacto de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones sobre la productividad en Colombia”. Se evidenció la necesidad de aplicar mediciones econométricas específicas para constatar los supuestos que caracterizan la función.
2. Es lo que se denomina modelo autorregresivo e indica que la variable de salida depende linealmente de sus propios valores anteriores.

- Un choque o efecto de una sola vez afecta los valores de la variable en el futuro.
3. En el contexto de estos estudios se consideran variables TIC el conjunto de equipos y dispositivos que representan a los computadores, software y telefonía. Es así como también hay otros estudios donde no se utiliza el conjunto de las TIC sino sólo algún tipo de tecnología de manera aislada del resto. Es decir, solo hacen la medición sobre alguna en particular.
 4. Disponibles a solicitud del lector interesado.

Referencias bibliográficas

1. ANTONY J. A Dual Elasticity of Substitution Production Function with an Application to Cross Country Inequality Jürgen Antony A Dual Elasticity of Substitution Production Function with an Application to Cross Country Inequality. *In: Universitätsstraße*. August 2007. n. 294, p. 10
2. ARGANDOÑA, Gámez, M. Macroeconomía Avanzada II - Fluctuaciones cíclicas y crecimiento económico. 1ra Ed. España: Mc Graw Hill, 1997.
3. ARROW, K. J. The Economic Implications of Learning by Doing. *In: The Review of Economic Studies*. June, 1962. vol. 29, no 3, p. 155–173.
4. BACKHAUS, J. G. The Theory of Economic Development. *In: The European Heritage in Economics and the Social Sciences*. In Jürgen Backhaus, Ed. German: Springer, 2003. p. 356.
5. BAKHSHI, H. a , LARSEN, J. ICT-specific technological progress in the United Kingdom. *In: Journal of Macroeconomics*. December, 2005. vol. 27, no. 4, p. 648–669.
6. BANKOLE, F. O. a c, OSEI - BRYSON, K.- M. b y BROWN, I. c. The Impact of Information and Communications Technology Infrastructure and Complementary Factors on Intra-African. *In: Information Technology for Development*. January, 2015. vol. 21, no. 1, p. 12–18.
7. BARRO, R. J. Government spending in a simple model of endogenous growth. *In: The Journal of Political Economy*. Octubre, 1990. vol. 98, no. 5, p. S130–S125.
8. BASANT, R., COMMANDER, S., HARRISON, R., & MENEZES-FILHO, N. ICT Adoption and Productivity in Developing Countries: New Firm Level Evidence from Brazil and India. *In: Iza*. September, 2006. no. 2294, p. 46.
9. BASU, S. a e, FERNALD, J. G. b, OULTON, N. c y SRINIVASAN, S. d. The case of the missing productivity growth, or does information technology explain why productivity accelerated in the United States but not in the United Kingdom?. *In: NBER Macroeconomics Annual*. October, 2003. vol. 18, no. 10010, p. 9–63
10. BECKER, G. S., MURPHY, K. M., & TAMURA, R. Human Capital, Fertility, and Economic Growth. *In: The Journal of Political Economy*. October, 1990. vol. 98, no. 5, p. 2, p. S12– 37.
11. BILLÓN-CURRAS, M., LERA-LÓPEZ, F., & ORTIZ-SERRANO, S. Evidencias del impacto de las TIC en la productividad de la empresa . ¿Fin de la « paradoja de la productividad »? *En: Cuadernos de Economía*. Abril, 2007. vol. 30, no. 5, p. 5–36.
12. BROOKS, C. Introductory Econometrics for Finance. Second Edi. Cambridge: Cambridge University, 2008. 674 p. ISBN-13 978-0-511-39848-3.
13. COBB, C., & DOUGLAS, P. A Theory of Production. *American Economic Association. In: The American Economic Review*. March, 1928. vol. 18, no. 1, p. 139– 165.
14. COLECCHIA, A., SCHREYER, P., & COLECCHIA, A. a y SCHREYER, P. b. ICT investment and economic growth in the 1990s: Is the United States a unique case?. *In: Review of Economic Dynamics*. April, 2002. vol. 5, no 2, p. 408 – 442.
15. DANE. Encuesta Anual de Servicios. Bogotá, Colombia. 2014.
16. DAVERI, F. b. The new economy in Europe, 1992-2001. *In: Oxford Review of Economic Policy*. September, 2002. vol. 18, no. 3, p. 345–362.
17. DUFFY, J., & PAPAGEORGIOU, C. A Cross-Country Empirical Investigation of the Aggregate Production Function Specification. *In: Journal of Economic Growth*. March 2000. vol. 5, no. 1, p. 87–120.
18. FEDESARROLLO. Impacto de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el Desarrollo y la Competitividad del País. Informe realizado por investigadores de Fedesarrollo para Andesco. 2011.
19. FORESTIER, E., GRACE, J., KENNY, C., & FORESTIER E, GRACE J, K. C. Can information and communication technologies be pro-poor?. *In: Telecommunications Policy*. December, 2002. vo. 26, no. (11), p. 24.
20. GALLEGO, J. M., GUTIÉRREZ, L. H., & LEE, S. H. A firm-level analysis of ICT adoption in an emerging economy: Evidence from the Colombian manufacturing industries. *In: Industrial and Corporate Change*. January, 2015. vol. 24, no. 1, p. 191–221.
21. GÉRALD D, A. Modelos de crecimiento económico exógeno y endógeno. 2007. [En línea]. Disponible en: Internet <file:///C:/Users/AN-TVADMIN/Downloads/465-1937-1-PB%20(2).pd>
22. GHOLAMI, R., TOM LEE, S.-Y., & HESHMATI, A. The Causal Relationship Between Information and Communication Technology and Foreign Direct Investment. *In: The World Economy*. January, 2006. vol. 29, no. 1, p. 43–62.
23. GONZÁLEZ ZABALA, M. P., SÁNCHEZ TORRES, J. M., & HOLBROOK, J. A. Análisis de los indicadores para medir las iniciativas de Sociedad de la Información propuestas por el gobierno colombiano. *En: Universitas Humanística*. Abril, 2013. vol. 4807, no. 76, p. 277–298.
24. GUJARATI, D. N., and PORTER, D. C. *Econometría*. 4ta Ed. México. McGraw-Hill, 2010. 946 p.
25. HO, S.-C., KAUFFMAN, R. J., & LIANG, T.-P. Internet-based selling technology and e-commerce growth: a hybrid growth theory approach with cross-model inference. *In: Information Technology and Management*. December, 2011. vol. 12, no. 4, p. 409–429.
26. INKLAAR, R., TIMMER, M. P., & VAN ARK, B. Mind the Gap! International Comparisons of Productivity in Services and Goods Production. *In: German Economic Review*. April, 2007. vol. 8, no. 2, p. 281–307.
27. INKLAAR, R., O'MAHONY, M., & TIMMER, M. ICT and Europe's productivity performance: Industry-level growth account comparisons with the United States. *In: Review of Income and Wealth*. November, 2005. vol. 51, no. 4, p. 505–536.
28. LEVINSOHN J. y PETRIN A. Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables. *In: National Bureau of Economic Research*. April, 2003. vol. 70, no. 2, p. 317-341 .
29. JALAVA, J., and POHJOLA, M. Economic growth in the New Economy: evidence from advanced economies. *In: Information Economics and Policy*. June, 2002. vol. 14, no. 2, p. 189–210.
30. JORGENSON, D. W. Information Technology and the G7 Economies. *In: Prices, Productivity and Economic Growth, World Economics*. December, 2003. vol. 4, no. 4, p. 139-169.
31. JUNG, H.-J., NA, K.-Y., and YOON, C.-H. The role of ICT in Korea's economic growth: Productivity changes across industries since the 1990s. *In: Telecommunications Policy*. May, 2013. vol. 37, no. 4-5, p. 292–310.
32. KAUFFMAN, R. a , KUMAR, A. Impact of Information and Communication Technologies on Country Development: Accounting for Area

- Interrelationships. In: *International Journal of Electronic Commerce*. September, 2008. vol. 13, no. 1, p. 11-58.
33. LAURSEN, K., & MELICIANI, V. The role of ICT knowledge flows for international market share dynamics. In: *Research Policy*. June, 2010. vol. 39, no. 5, p. 687-697.
 34. LUCAS, R. E. On the mechanics of economic development. In: *Journal of Monetary Economics*. February, 1988. vol. 22, no. 1, p. 3-42.
 35. MATTEUCCI, N., O'MAHONY, M., ROBINSON, C., and ZWICK, T. Productivity, workplace performance and ict: industry and firm-level evidence for Europe and the US. In: *Scottish Journal of Political Economy*. July, 2005. vol. 52, no. 3, p. 359-386.
 36. MEEUSEN W and DEN BROECK J van. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. In: *International Economic Review*. June, 1977. vol. 18, no. 2, p. 435-444.
 37. MISHRA, S. K. A Brief History of Production Functions. [En línea]. Disponible en: Internet <SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1020577> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1020577>>
 38. MONTES VERGARA, F. J. Evaluación del impacto de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones sobre la productividad en Colombia. Tesis trabajo de grado de maestría en ingeniería industrial. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2016. 218 p.
 39. MONTERO, R. Variables no estacionarias y cointegración. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. [En línea] España, Universidad de Granada. 2013. Disponible en Internet <<http://www.ugr.es/~montero/matematicas/cointegracion.pdf>>
 40. NBER Working Paper Series. Cambridge MA. Octubre, 2003, no. 10010. DOI 10.3386/w10010. Disponible en internet <<http://www.nber.org/papers/w10010.pdf>>.
 41. NELSON, R. R., & PHELPS, E. S. Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. In: *American Economic Review*. March, 1996. vol. 56, no. 2, p. 69-75.
 42. POHJOLA, M. The New Economy in growth and development. In: *Oxford Review of Economic Policy*. September, 2002. vol. 18, no. 3, p. 380-396.
 43. POLÁK, P. The productivity paradox: A meta-analysis. In: *Information Economics and Policy*. November, 2016. vol. 38, p. 38-54.
 44. REBELO, S. Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth. In: *Journal of Political Economy*. June, 1991. vol. 99, no. 3, p. 500-521.
 45. ROMER, P. Endogenous Technological Change. In: *Journal of Political Economy*. October, 1990. vol. 98, no. 5, p. 71-102.
 46. ROMER, P. Increasing returns and long-run growth. In: *Journal of Political Economy*. October, 1986. vol. 94, no. 5, p. 1002-1037.
 47. SALA-I-MARTIN, X. Apuntes de crecimiento económico. 1ra Ed. Barcelona: A. Bosch, 1994. Universidad Pompeu Fabra. 269 p. ISBN 84-85855-92-2.
 48. SAMIMI, A. J., & LEDARY, R. B. Ict and economic growth: New evidence from some developing countries. In: *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2010. vol. 4, no. 8, p. 3086-3091. ISSN 1991-8178.
 49. SHAHIDUZZAMAN, M., & ALAM, K. The long-run impact of Information and Communication Technology on economic output: The case of Australia. In: *Telecommunications Policy*. August, 2014. vol. 38, no. 7, p. 623-633.
 50. SHAHIDUZZAMAN, M., LAYTON, A., ALAM, K. On the contribution of information and communication technology to productivity growth in Australia. In: *Economic Change and Restructuring*. August, 2015. vol. 48, no. 3, p. 281-304.
 51. SOLOW, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. In: *The Quarterly Journal of Economics*. February, 1956. vol. 70, no. 1, p. 65-94.
 52. STIROH, K. J. Are ICT spillovers driving the New Economy? In: *Review of Income and Wealth*. March, 2002. vol. 48, no. 1, p. 33-57.
 53. TIMMER y VAN ARK, B. b. Does information and communication technology drive EU-US productivity growth differentials? In: *Oxford Economic Papers*. October, 2005. vol. 57, no. 4, p. 693-716.
 54. VAN ARK, B., MELKA, J., MULDER, N., TIMMER, M. P., & YPMA, G. ICT Investment and Growth Accounts for the European Union, 1980-2000, Final Report on: ICT and Growth Accounting. In final Report on "ICT and Growth Accounting" for DG Economics and Finance of the European Commission. Brussels. September, 2002. Disponible en internet <https://www.researchgate.net/publication/4765360_ICT_investments_and_growth_accounts_for_the_European_Union>
 55. VILLAMIL H. El capital humano como impulsor del crecimiento económico en Colombia. En: *Administración y Desarrollo*. Diciembre, 2011. vol. 30, no. 54, p. 151-166.
 56. WANG, Y. How ICT Penetration Influences Productivity Growth: Evidence From 17 OECD Countries. In: *Economic Development Quarterly*. March, 2015. vol. 29, no. 1, p. 79-92.