

**MODELO TASA ÓPTIMA DE PROGRESO TECNOLÓGICO BASADO EN EL
RESIDUO DE SOLOW PARA LA ECONOMÍA COLOMBIANA 1990-2015**

**SOLOW WASTE-BASED OPTIMAL RATE OF TECHNOLOGICAL PROGRESS
MODEL FOR THE COLOMBIAN ECONOMY 1990-2015**

Omar Lombana Oropa¹
Katherine Barrera Poveda²
Harold Leonardo Ariza Pinilla³

RESUMEN

Este artículo expone la incidencia de los factores de producción: Formación Bruta de Capital (FBK) y salarios (W) en el Producto Interno Bruto (PIB) en un entorno de economía simple; factores que se pueden utilizar siguiendo el modelo clásico de una economía cerrada y aplicarlo para la economía colombiana; es decir, replicar el estudio de Robert Solow de 1956 en Estados Unidos, que le permitió el premio Nobel de Economía.

Se trata de encontrar la diferencia del crecimiento del PIB y la suma del crecimiento de los factores FBK y W, a esto se le llama residuo de Solow, y la diferencia se le atribuye al progreso tecnológico que posee una nación; por lo tanto, la parte del PIB que no se puede explicar por el crecimiento de los factores, se explica por el progreso que tenga en tecnología la nación, así se determina el factor que tiene prioridad sobre el otro y qué tanto incide en el crecimiento de la economía.

Palabras clave: Crecimiento económico, tecnología, industria, factores de producción, capital.

ABSTRACT

This article explains the incidence of factors of production; Gross Capital Formation (FBK) and wages (W) in the Gross Domestic Product (GDP), in a simple economy environment, using these two factors can recreate the classic model for a closed economy, and thus apply to the Colombian economy the work that in 1956 developed the economist Robert Solow in the United States and that deserved him the Nobel prize.

¹ Economista de la Universidad de los Llanos. Correo: oroxcaminante@gmail.com

² Economista de la Universidad de los Llanos. Correo: katherinebarrera.16@gmail.com

³ Economista. Maestrante en estudios de desarrollo local de la Universidad de los Llanos. ecoleonardop@gmail.com

It is to find the difference of the growth of the GDP and what sums up the growth of the factors FBK and W, to this was what is called residue of Solow, to the difference is attributed to the technological progress that owns a nation; Therefore, that part of the GDP that can not be explained by the growth of the factors, is explained by the progress that technology has in the nation, so it is possible to determine which factor has priority over the other and how much it affects The growth of the economy.

Keywords: Economic growth, technology, industry, factors of production, capital.

INTRODUCCIÓN

Se contextualiza la economía colombiana para apreciar el desarrollo tecnológico en dos décadas y media, 1990-2015; se parte de 1990 porque en 1991, entró en vigencia el modelo de la apertura económica, bajo el supuesto de una serie de beneficios en adquisición de recursos tecnológicos, generando atracción para los consumidores. Según (Banco de la República, 2015).

La lógica detrás de este modelo consiste en que, al introducir un elemento de competitividad extranjera, la calidad de los productos internos y la innovación aumentan, mientras que los costos tienden a bajar, de tal manera que es de mayor beneficio para el consumidor (párrafo 2).

El comportamiento del PIB no ha mostrado crecimiento sostenido y por el contrario muestra alta inestabilidad, esto se debe en gran medida al bajo nivel industrial que ha tenido el país a lo largo de su historia. Ya desde mediados de la década del 70 esta situación se venía presentando. Maldonado (2010) afirma:

La industria manufacturera en Colombia desde la década de los 70's, no ha logrado encontrar una senda de crecimiento, transformación y modernización productiva que la logre posicionar de nuevo como uno de los sectores líderes en la dinámica productiva de la economía nacional. El desempeño reciente de la industria nacional se destaca por una senda de deterioro progresivo en su patrón de desarrollo y transformación que se caracteriza por la insuficiencia dinámica y el debilitamiento estructural de la producción, la desaceleración del ritmo de crecimiento del sector, el estancamiento relativo de la diversificación productiva y el agotamiento tecnológico; el tránsito hacia esta trayectoria de deterioro y de frágil transformación del patrón de crecimiento, señala la evidente reducción de la participación del sector industrial manufacturero en la estructura productiva y profundiza la dependencia tecnológica nacional (p, 9)

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

Según las consideraciones precedentes para tener una idea de lo expuesto, se acude al modelo de crecimiento de Robert Solow, quien plantea que el crecimiento que no se explica por la participación del capital o del salario, corresponde al desarrollo tecnológico, a esto se le conoce como residuo de Solow.

En consecuencia, se calcula la tasa de crecimiento del PIB, la cual es la variable dependiente dentro del modelo, lo que condujo a que se hallara la productividad de los factores FBK y W en la economía colombiana para el periodo de estudio.

MARCO TEÓRICO

El punto de partida de la teoría neoclásica del crecimiento es la función de producción agregada (modelo simple en economía cerrada), que es una especificación de la relación entre la producción agregada y los factores de producción (Blanchard, 2006). En la revisión al residuo de Solow realizada por Bernal se parte de una función de producción de la siguiente forma:

$$Y = f(K, L, t)$$

En la función, Y representa la producción, K es la formación bruta de capital, mientras t es el progreso tecnológico, donde se supone que el cambio técnico es neutral, lo que conlleva a que la distribución del ingreso no se altere bajo unas condiciones dadas en la relación capital-trabajo, al desplazarse la función de producción. Lo que hace que la función tome la forma siguiente (Bernal (s.f)):

$$Y = A(t)f(K, L)$$

A(t) mide las variaciones del producto con el pasar del tiempo, luego se deriva la ecuación anterior respecto al tiempo y se divide por la producción Y, de esta manera se llega a la ecuación:

$$g_y = g_a + \alpha g_k + \beta g_l$$

Dejando ver a g_y como la tasa de crecimiento del producto, a g_a como la tasa de progreso tecnológico, g_k y g_l representan la tasa de crecimiento del capital y del trabajo, por otro lado α y β son la participación de la remuneración del capital y el trabajo en el producto. Se supone homogeneidad en el producto por trabajador, lo que da por resultado:

$$g_{yp} = g_a + \alpha g_{kp}$$

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

Donde g_yP , representa el producto pro trabajador, g_kP es el capital por trabajador y α es la remuneración del capital y el trabajo en el producto. Despejando la tasa de progreso tecnológico se obtiene la ecuación:

$$g_a = g_yP - \alpha g_kP$$

Lo que permite calcular el progreso tecnológico de manera residual (Bernal (s.f)).

La medición de Solow permite cuantificar de manera residual la Productividad Total de los Factores (PTF), donde la tecnología juega un papel fundamental ya que manteniéndose constante la cantidad de trabajo y de capital, se puede aumentar la producción gracias a la variable en mención.

La forma como Solow calculó el residuo, ha sido objeto de apreciaciones que ponen en entre dicho la efectividad de la medición, en la medida que los resultados son desproporcionados.

La contribución al crecimiento de la economía colombiana en 1950 fue del -249%, en 1957 pasó al 0,65%, en 1958 al -71% y en 1959 al 107%. En 1982 se calcula el dato menos creíble desde el punto de vista de la economía: una contribución de la PTF del -617%. ¿Dónde queda la contribución al crecimiento de la adición de factores productivos? Parece entonces necesario repensar si el cálculo de la PTF, tal y como lo planteó Solow, refleja un progreso técnico continuo (Bernal (s.f)).

Los inconvenientes en la credibilidad de los resultados han llevado a que se plante otra forma de medir el residuo. Se parte de la ecuación ya revisada:

$$g_a = g_yP - \alpha g_kP$$

Se supone que la participación de la ganancia en la producción viene dada por α , esto es igual a rK/Y . “donde r es la remuneración por unidad de capital que debe ser igual al producto marginal del capital $\Delta Y/\Delta K$ ” (Bernal (s.f)). La evolución del capital ΔK es igual a la inversión I . La tasa de inversión I/Y se equipara al ahorro nacional S/Y esto es igual a s , que será la propensión marginal a ahorrar:

$$\alpha g_k = r * K/Y * K/K = r * K/Y$$

Donde r es igual $1/C$ y C es la variación del capital respecto del producto. “Ahora, como en equilibrio macroeconómico el ahorro es igual a la inversión, $S = I$, y como porcentaje del

ingreso $S/Y = I/Y$. Denotando a S/Y por s se llega a la ecuación modificada de Harrod (Bernal (s.f))²:

$$gk = s/C = i/C$$

Esto conlleva a la ecuación:

$$g_a = g_y - i/C = g_y - s/C$$

De esta forma se puede medir la productividad total de los factores (PTF), sin que la variación de un año a otro de resultados abismales.

METODOLOGÍA

Al momento de recolectar los datos, los del año 2015 todavía no estaban disponibles en las fuentes oficiales, lo que conlleva a que se proyectaran por el método de interpolación lineal, utilizando veintitrés datos dado que se manejan en tasas, logrando estimar las cifras de FBK y W para el año 2015 los resultados se contrastan en el anexo 1. Uniandes (s.f) afirma:

La idea básica es conectar los 2 puntos dados en x_i , es decir (x_0, y_0) y (x_1, y_1) . La función interpolante es una línea recta entre los dos puntos. Para cualquier punto entre los dos valores de x_0 y x_1 se debe seguir la ecuación de la línea.

Que se puede derivar geoméricamente. En lo anterior, el único valor desconocido es y , que representa el valor desconocido para x .

Una vez condensada la información estadística se corrió el modelo econométrico, se tomó como variables de análisis el crecimiento del PIB que se constituye como la variable dependiente, y variable independiente en un principio el crecimiento del ahorro nacional bruto y la formación bruta de capital; al correlacionar los datos, la variable ahorro nacional bruto no fue significativa para el modelo en estudio, por lo que se reemplazó por la variación de los salarios.

Por su parte el salario experimentó etapas donde su crecimiento fue negativo, desde 1994 hasta el año 2000 se identifican fluctuaciones poco alentadoras para los trabajadores, debido a que se pasó de un dato negativo de -10% en 1996 a un nivel de crecimiento del 4,7% en 1998 los dos años siguientes muestra un comportamiento negativo para luego recuperarse y mostrar un punto máximo en 2009 cuando registró 3,6%, lo que supone una recuperación pero no tan significativa como para que impacte de manera considerable a la

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

población trabajadora ya que el desempleo en ese año supero los dos dígitos ubicándose en el 12% (DANE, 2016).

El salario no ha logrado crecer por encima del 5% lo que imposibilita que esta variable juegue un papel preponderante en la producción del país, este comportamiento se da en parte al alto desempleo que ha experimentado la economía nacional, antes del año 2012 dicha cifra supera los dos dígitos llegando a crecer por encima del 14%, similar a 2002 cuando se ubicó en 15,5%, en ese año la economía creció por debajo del 2%.

Por otro lado, la formación bruta de capital (FBK), muestra crecimientos negativos en los años 1997, 1998, 1999 y 2009, y en adelante se muestra un nivel de crecimiento que alcanzó su punto máximo en 2006 cuando creció 37%, lo registrado se debe en gran medida al aumento de la inversión extranjera directa en hidrocarburos, lo que ha imposibilitado que la industria nacional se desarrolle, generando dependencia por la industria foránea (Cárdenas y Solano, 2014, p. 1).

La FBK ha jugado un papel fundamental en el crecimiento de la economía colombiana, ya que ha sido una variable con gran dinamismo en el desempeño de la producción, en algunos años creció por encima del 25% y en otros se contrajo por debajo del 10%, reflejándose en los periodos de contracción de la FBK; también el PIB redujo su nivel de crecimiento; por otra parte cuando la variable FBK alcanzó la cifra más alta en el año 2006 del 37,1%, el desempleo experimento un crecimiento del 12,03%, lo que deja entredicho el impacto que genera el crecimiento de la FBK sobre el empleo.

Una vez obtenidas estas variables se procede a realizar la prueba de normalidad donde el criterio de decisión es: si el valor de la prueba de normalidad Jarque-Bera calculada es menor o igual al de la tabla, la hipótesis nula se rechaza.

Prueba para datos normales: Jarque-Bera			
Variable	Observaciones	Probabilidad	Jarque-Bera
PIB	25	0	373,2329
FBK	25	0,003294	11,43127
PW	25	0,037853	6,548112

Fuente: elaboración propia a partir del software Eviews.

Según lo arrojado por la prueba de normalidad Jarque-Bera (JB) se concluye que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, a un nivel de confianza del 95% las series PIB, FBK y PW no corresponden a una distribución normal.

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

Con el fin de ajustar la sensibilidad de la tendencia a las fluctuaciones: se le aplico a las series PIB, FBK y PW en el periodo 1990-2015 el filtro Hodrick-Prescott, el cual trata de minimizar de la ecuación $Y_t = T_t + C_t$ (T_t : componente de tendencia, C_t : componente cíclico) el componente cíclico, dando como resultado una línea suavizada (Hyeongwoo, 2004).

$$\text{Min}_{\{\tau_t\}_{t=1}^T} \left[\sum_{t=1}^T (y_t - \tau_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{T-1} (\nabla^2 \tau_{t+1})^2 \right]$$

Dado por la ecuación anterior, λ es el parámetro de penalización, el cual mientras se acerca a cero la tendencia se acerca equivalentemente a la serie original y mientras tiende a infinito la serie se acercará más a una línea recta.

Prueba de normalidad Jarque-Bera (JB) con las series filtradas a partir de la metodología Hodrick-Prescott (HP) para las variables PIB, FBK y PW

Variable	Observaciones	Probabilidad	Jarque-Bera
PIB	25	0,271644	2,606522
FBK	25	0,307675	2,35742
PW	25	0,504273	1,369275

Fuente: elaboración propia a partir del software Eviews.

Según lo arrojado por la prueba de normalidad Jarque-Bera (JB) con las series filtradas a partir de la metodología Hodrick-Prescott, se concluye que hay suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula, a un nivel de confianza del 95% las series PIB, FBK y PW corresponden a una distribución normal.

Una vez normalizada la serie se estimó el modelo propuesto por Solow.

Modelo econométrico con series filtradas a partir de la metodología Hodrick-Prescott (HP)
Modelo econométrico con series filtradas

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FBK	0,698651	0,087598	7,97564	0
PW	-1,459666	0,190022	-7,681555	0
C	-0,008853	0,007849	-1,127915	0,2715

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

R-squared	0,785201	Mean dependent var	0,054124
Adjusted R-squared	0,765674	S.D. dependent var	0,020396
F-statistic	40,21078		
Prob(F-statistic)	0	Durbin-Watson stat	0,202658

Fuente: elaboración propia a partir del software Eviews.

Con el fin de comprobar la veracidad del modelo en estudio se realiza la prueba Fisher, con un nivel de significancia de 0.05 y el nivel de confianza 95%.

Prueba de relevancia F (Fisher)

Prueba Fisher			
Modelo	Observaciones	F-statistic	Prob(F-statistic)
PIB, FBK, PW	25	40,21078	0

Fuente: elaboración propia a partir del software eviews

La prueba de ajuste del modelo (F) arroja como resultado que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%; es decir, los betas del modelo del residuo de Solow son estadísticamente diferentes de cero, por lo tanto, el modelo es útil.

Para descartar problemas de autocorrelación se aplicó la prueba Durbin-Watson obteniendo los siguientes resultados:

Prueba Durbin-Watson

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FBK	0,698651	0,087598	7,97564	0
PW	-1,459666	0,190022	-7,681555	0
C	-0,008853	0,007849	-1,127915	0,2715
R-squared	0,785201			
		Durbin-Watson stat		0,202658

Fuente: elaboración propia a partir del software Eviews

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

Con el fin de detectar la existencia de auto correlación serial se aplica la prueba Durbin-Watson. Según la tabla 6, se detecta que el Durbin-Watson es de 0,202658 lo que evidencia problemas de autocorrelación.

Se identifica que el valor representado en el modelo es de 0,202658 el cual se ubica en la zona de rechazo indicando que existe autocorrelación.

Para corregir la autocorrelación se realiza un procedimiento autorregresivo de orden 1 (AR1) y orden 2 (AR2), que permiten superar dicho problema. Luego se aplica nuevamente la prueba Durbin-Watson y se obtienen los siguientes resultados:

Prueba Durbin-Watson con autorregresivos de orden (1) y (2)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Estatistic	Prob
FBK	0,235238	0,11783	1,996422	0,0612
PW	-1,026686	0,385375	-2,664123	0,0158
C	0,031731	0,011425	2,77721	0,0124
AR (1)	1,8825	0,029895	62,96962	0
AR (2)	-0,982227	0,027332	-35,93662	0
MA (1)	0,751892	0,208171	3,611903	0,002
R-squared	0,999255	Mean Dependent var		0,054124
F-statstic	4024,262	S.D dependent var		0,020396
Prob(F-atatistic)	0	Durbin-Watson stat		1,684784

Fuente: elaboración propia a partir de software Eviews

En el proceso de corrección de autocorrelación se tomó la variable FBK al 10% lo que implica que se considere poco significativa. Bencardino (1998) afirma “cuando se trabaja con un nivel del 5%, el resultado es significativo; si se emplea el 1%, el resultado es altamente significativo, y si es del 10%, se considera poco significativo, pero se puede usar cualquier nivel” (p.370). Las demás variables se tomaron con un nivel de significación del 5%. Los autorregresores en el caso de la variable FBK se corrigió hasta AR1 mientras que la variable PW se corrigió con el autorregresor hasta el AR 2, eliminando de esta manera la autocorrelación de las series, dando como resultado un Durbin-Watson de 1,684784 dato que se aproxima a 2 lo que implica que no se presenta autocorrelación.

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

RESULTADOS

Se refleja una relación inversa entre el crecimiento de los salarios y el crecimiento del PIB, dado que al aumentar los salarios (PW) en 0,98% el PIB disminuirá en un punto, esto debido al bajo nivel industrial de Colombia. Ávila (s.f) afirma:

El desempeño de la industria colombiana se encuentra en niveles bajos de producción, ventas y empleo en gran parte de sus ramas productivas; este desempeño lastimosamente se ha vuelto la constante de los últimos meses; la comparación en términos internacionales no muestra resultados favorables para el país: la industria manufacturera en Chile tuvo un crecimiento de 2.5% para el primer bimestre de 2013, la industria peruana se expandió a una tasa de 1.7% y en Uruguay para el mismo período creció un 4.8%; en tanto que Colombia tuvo una variación negativa de -3.1% (p.1).

Lo cual implica que, al aumentar la contratación y por ende los salarios, el sistema productivo no cuenta con la capacidad instalada suficiente para hacer frente a los nuevos trabajadores que ingresen al sistema laboral, por lo tanto, al aumentar la contratación el producto no crecerá, por el contrario, tenderá a disminuir. En este sentido los resultados más importantes se pueden sintetizar en los siguientes ejes:

- El modelo econométrico arroja como resultado que la FBK participo en el crecimiento del PIB en 1,88% lo cual indica que para que el PIB crezca en un punto la FBK deberá crecer en 1,88%.
- El crecimiento del PIB a partir de la tecnología fue de 0,031% según se puede evidenciar en el intercepto C del modelo econométrico, ya que, según la fórmula del residuo de Solow, el crecimiento que no es explicado por la productividad de los factores, es explicado gracias al progreso tecnológico, en el presente caso es de mayor relevancia para el crecimiento del PIB la participación de la FBK.
- La FBK es la variable de mayor participación en la producción de acuerdo con los datos estudiados, pero cuando más creció en 2006 con 37% no logro jalonar el empleo lo suficiente como para reducir la tasa de desempleo ya que esta creció al 12%.
- El progreso tecnológico no es lo suficientemente significativo como para lograr que el PIB crezca de manera sostenida por varios periodos de tiempo.

CONCLUSIONES

El Estado colombiano deberá implementar una política fiscal encaminada a aumentar el gasto en ciencia y tecnología que sea comparable al gasto que realizan países como Estados Unidos en donde supera el 2% del PIB.

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59

Se debe generar una reforma fiscal expansiva enfocada al beneficio de la industria nacional, con el fin de disminuir la dependencia por la industria extranjera. Así mismo es necesario generar una política aduanera encaminada a la disminución de los costos en los bienes de capital.

Por último, el Estado debe implementar una política educativa con el fin de aumentar el acceso a la educación superior con el fin de cualificar y tecnificar la mano de obra. Se debe implementar una política monetaria que priorice la tasa de interés a los créditos para la generación de industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco de la República. (2015). Subgerencia Cultural del Banco de la República, apertura económica . Recuperado el 31 de marzo de 2016, de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/apertura-economica>
- Bernal Castro, H. (2012). Inversion Extranjera Directa en Colombia en el siglo XX, énfasis en el sector petróleo . Obtenido de http://mba.americaeconomia.com/sites/mba.americaeconomia.com/files/inversion_extranjera_directa_en_colombia_en_el_siglo_xx.pdf.
- Blanchard, O. (2006). Macroeconomía. Madrid: Pearson Educacion S.A.
- Maldonado Atencio, A. A. (Octubre de 2010). La Evolución del Crecimiento Industrial y Transformación Productiva en Colombia 1970-2005: Patrones y Determinantes. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Económicas. . Obtenido de [http://www.bdigital.unal.edu.co/2021/1/TESIS_ORIGINAL_OCTUBRE_12_\(1\).pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/2021/1/TESIS_ORIGINAL_OCTUBRE_12_(1).pdf).
- Solow, R. (1957). A Contribution to the Theory of Economic Growth. Massachusetts: Massachusetts institute of technology.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. En Review of Economics and Statistics (págs. 312-320).
- Uniandes. (s.f). Interpolación. Recuperado de <http://www.prof.uniandes.edu.co/~gprieto/classes/compufis/interpolacion.pdf>

Fecha de recepción: Junio de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Agosto 2020

TERRITORIO Y DESARROLLO ISSN 2711-3507

2020; 7 (2): 46 - 59